



⑯ BUNDESREPUBLIK

DEUTSCHLAND



DEUTSCHES

PATENT- UND
MARKENAMT

⑯ Offenlegungsschrift
⑯ DE 101 40 034 A 1

⑯ Int. Cl. 7:
H 02 P 7/63

DE 101 40 034 A 1

⑯ Aktenzeichen: 101 40 034.9
⑯ Anmeldetag: 16. 8. 2001
⑯ Offenlegungstag: 23. 5. 2002

- ⑯ Unionspriorität:
47836/00 18. 08. 2000 KR
- ⑯ Anmelder:
LG Industrial Systems Co., Ltd., Seoul/Soul, KR
- ⑯ Vertreter:
Patent- und Rechtsanwälte Bardehle, Pagenberg,
Dost, Altenburg, Geissler, Isenbruck, 81679
München

- ⑯ Erfinder:
Cho, Byung Guk, Uiwang, Kyungki, KR

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑯ Sensorloses Vektorsteuersystem für Induktionsmotoren und Verfahren zum Betreiben desselben

⑯ Ein sensorloses Vektorsteuersystem eines Induktionsmotors enthält: eine Magnetfluss- und Geschwindigkeitssteuereinheit zum Empfangen eines vorbestimmten Befehlswerts und zum Erzeugen von zwei Phasenspannungen der Gleichstromkomponente; eine erste Referenzrahmensystem-Umsetzungseinheit zum Umsetzen der beiden Phasenspannungen der Gleichstromkomponente in drei Phasenspannungen der Wechselstromkomponente; einen Inverter zum Empfangen der drei Phasenspannungen der Wechselstromkomponente und zum Antreiben eines Induktionsmotors; eine Stromdetektoreinheit zum Empfangen der Dreiphasenenergie der Wechselstromkomponente, die zwischen dem Inverter und dem Induktionsmotor fließt, und zum Detektieren und Ausgeben der drei Phasenströme der Wechselstromkomponente; eine zweite Referenzrahmensystem-Umsetzungseinheit zum Empfangen der drei Phasenströme der Wechselstromkomponente und zum Umsetzen und Ausgeben der beiden Phasenströme der Gleichstromkomponente; eine Magnetfluss- und Geschwindigkeitsabschätzungseinheit zum Empfangen der beiden Phasenspannungen der Gleichstromkomponente, der beiden Phasenströme der Gleichstromkomponente und der geschätzten Werte des magnetischen Flusses und der Geschwindigkeit und zum Schätzen des primären Widerstandes und Ausgeben desselben. Weil die Geschwindigkeit und das Drehmoment des Induktionsmotors gesteuert werden können, kann das Vektorsteuersystem selbst in einem Anwendungssektor eingesetzt werden, der eine Spannungssteuerung, wie etwa bei einem ...

DE 101 40 034 A 1

DE 101 40 034 A 1

Beschreibung

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

5

1. Anwendungsgebiet der Erfindung

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Vektorsteuersystem für einen Induktionsmotor, und insbesondere auf ein sensorloses Vektorsteuersystem für einen Induktionsmotor, das in der Lage ist, den magnetischen Fluss und die Geschwindigkeit eines Induktionsmotors abzuschätzen, ohne dazu eine Geschwindigkeitsmessvorrichtung zu benutzen.

10

2. Beschreibung des Standes der Technik

[0002] Allgemein ist Dank seiner leichten Steuerbarkeit der Gleichstrommotor für lange Zeit als ein Steuergerät für eine unveränderliche Geschwindigkeit und eine variable Geschwindigkeit benutzt worden. Gleichstrom weist aber Nachteile auf, indem seine Nutzung während einer vorbestimmten Zeidauer eine Kohlebürste verbraucht, was somit Wartung und Reparaturen erfordert.

[0003] Im Falle eines Induktionsmotors ist dieser wegen seiner stabilen Struktur unter dem Gesichtspunkt der Wartung und Reparatur überlegen. Speziell ist er preisgünstig, so dass er im industriellen Bereich weithin benutzt worden ist. Allerdings ist der Induktionsmotor aufgrund seiner schwierigen Steuerbarkeit im Vergleich zu einem Gleichstrommotor hauptsächlich für den Betrieb mit konstanter Geschwindigkeit verwendet worden.

[0004] Neuerdings kann aber der Betrieb des Induktionsmotors mit variabler Geschwindigkeit im Zuge der Einführung der Vektorsteuertheorie durchgeführt werden, aufgrund derer es möglich ist, den magnetischen Fluss und die Drehmomentkomponente durch Benutzen eines Geschwindigkeitssensors getrennt zu steuern, und zwar als Folge des Aufkommens des Hochgeschwindigkeits-Leistungshalbleiterbauelements und der Entwicklung des Hochleistungsprozessors (Zentraleinheit oder digitaler Signalprozessor); so dass der Induktionsmotor über das Niveau des Gleichstrommotors hinaus in Bezug auf die Wirksamkeit der Geschwindigkeitssteuercharakteristik gesteuert werden kann, so dass im Bereich der Steuerung mit variabler Geschwindigkeit, die bisher den Gleichstrommotor verwendet hat, zunehmend der Induktionsmotor anstelle des Gleichstrommotors eingesetzt wird.

[0005] Um den Induktionsmotor durch Vektorsteuerung zu betreiben, muss die Geschwindigkeits- oder Magnetflussinformation des Motors vom Induktionsmotor rückgekoppelt werden, wozu ein Geschwindigkeitsinformationssensor oder ein Sensor für den magnetischen Fluss, wie etwa ein Tacho-Generator oder ein Resolver oder ein Impulskodierer erforderlich ist.

[0006] Weil aber die Sensoren eine elektronische Schaltung einbeziehen, ist der Induktionsmotor mit solchen Sensoren aufgrund des Benutzungstemperaturbereichs der elektronischen Schaltung ebenfalls in seiner Verwendung eingeschränkt, wobei die Signalverdrahtung zwischen dem Geschwindigkeitssensor und dem Inverter kostspielig ist.

[0007] Und selbst wenn die Geschwindigkeitssensoren möglicherweise installiert sind, werden sie, weil der Verbindungsabschnitt zwischen dem Induktionsmotor und dem Geschwindigkeitssensor gegen Stoß empfindlich ist, vorzugsweise im Hinblick auf die Zuverlässigkeit der Betriebsanlage lieber vermieden.

[0008] Um diese Probleme zu lösen, sind Untersuchungen in Bezug auf eine sensorlose Vektorsteuerung, die keinen Geschwindigkeitssensor benötigt, erfolgreich durchgeführt worden.

[0009] Dementsprechend sind neuerdings verschiedenartige Verfahren zur Abschätzung der Geschwindigkeit von Induktionsmotoren im Hinblick auf die sensorlose Vektorsteuerung ohne Einsatz des Geschwindigkeitssensors vorgeschlagen worden. Unter diesen befinden sich Untersuchungen in Bezug auf ein Verfahren zum direkten Abschätzen und Steuern des magnetischen Flusses unter gleichzeitiger Benutzung der Differentialgleichung eines adaptiven Modellbezugsystems (MRAS), ein Flussbeobachter und ein Motor.

[0010] Fig. 1 ist ein schematisches Blockdiagramm eines sensorlosen Vektorsteuersystems gemäß dem Stand der Technik.

[0011] Wie in Fig. 1 dargestellt, umfasst ein sensorloses Vektorsteuersystem zum Aufnehmen der Energie von einer Energieversorgungseinheit 13 und zum Antreiben eines Induktionsmotors: ein Geschwindigkeitssteuergerät, das mit einer Bezugsgeschwindigkeit (ω_r) und einem Abschätzungsgeschwindigkeitswert ($\hat{\omega}_r$) aus einer Recheneinheit 20 für die Integration mit proportionaler Konstante rückgekoppelt wird und das im Betrieb einen Bezugsdrehmoment-Komponentenstrom ($i_{1\beta}^*$) ausgibt, wenn die vorbestimmte Bezugsgeschwindigkeit (ω_r) sowie ein Referenz-Magnetfluss-Komponentenstrom ($i_{1\alpha}^*$) vorliegen; eine Strom-/Spannungsumsetzungsbefehlseinheit 10 zum Empfangen des Stroms ($i_{1\alpha}^*$) der Referenz-Magnetflusskomponente und des Stroms ($i_{1\beta}^*$) der Referenz-Drehmomentenkomponente sowie zum Ausgeben der Gleichstrombezugsspannungen ($v_{1\alpha}^*, v_{1\beta}^*$); einen Gleichstrom-/Wechselstrom-Umsetzer 11 zum Empfangen der Gleichstrom-Bezugsspannungen ($v_{1\alpha}^*, v_{1\beta}^*$) und Ausgeben von zwei Phasen-Referenz-Wechselstromspannungen (v_{1d}^*, v_{1q}^*); einen Phasen-Spannungsumsetzer 12 zum Empfangen der zwei Phasen-Referenz-Wechselstromspannungen (v_{1d}^*, v_{1q}^*) und der drei Phasen-Referenz-Phasenspannungen (v_a^*, v_b^*, v_c^*); einen Inverter 14 zum Empfangen der drei Phasen-Referenz-Phasenspannungen (v_a^*, v_b^*, v_c^*) und zum Steuern des Induktionsmotors (IM), den Induktionsmotor 15 zum Empfangen der drei Phasen-Referenz-Phasenspannungen (v_a^*, v_b^*, v_c^*) von dem anzutreibenden Inverter; einen Stromdetektor 16 zum Detektieren des zwischen dem Inverter und dem Induktionsmotor fließenden Stroms, sowie zum Ausgeben der detektierten Phasenströme (i_a, i_b, i_c); einen Phasenstromumsetzer 17 zum Empfangen der detektierten Phasenströme (i_a, i_b, i_c) und Umsetzen derselben in einen d-Achsenstrom (i_d) und einen q-Achsenstrom (i_q); eine Magnetfluss-Operatoreinheit 18 zum: Empfangen des d-Achsenstroms (i_d) und des q-Achsenstroms (i_q), Empfangen der zwei Phasen-Referenz-Wechselstromspannungen (v_{1d}^*, v_{1q}^*), Abschätzen der zwei Phasen-Referenz-Wechselstrom-Magnetflüsse ($\hat{\lambda}_{2d}, \hat{\lambda}_{2q}$) und Ausgeben derselben; einen Wechselstrom-/Gleichstrom-Umsetzer 19 zum Empfangen der geschätzten zwei Phasen-Wechselstrom-Magnetflüsse ($\hat{\lambda}_{2d}, \hat{\lambda}_{2q}$) Abschätzen eines Gleichstrom-Magnetflusses ($\hat{\lambda}_{2a}, \hat{\lambda}_{2b}$) und Aus-

DE 101 40 034 A 1

geben derselben; eine Integral-/Proportionalkonstanten-Berechnungseinheit 20 zum Abschätzen der Geschwindigkeit unter Verwendung der Größe $\hat{\lambda}_{2\beta}$ der geschätzten Gleichstrom-Magnetflusskomponenten, sowie Ausgeben derselben; eine Schlupf-Operatoreinheit 23 zum Empfangen eines Magnetfluss-Komponentenstroms ($i_{1\alpha}^*$) und eines Drehmoment-Komponentenstroms ($i_{1\beta}^*$) sowie Erhalten und Ausgeben des Schlupfes; und einen Integrierer 25 zum Empfangen des Schlupfes und der geschätzten Geschwindigkeit ($\hat{\omega}_r$), und Integrieren derselben zum Abschätzen des Winkels.

5

[0012] Nachfolgend wird die Betriebsweise des sensorlosen Vektorsteuersystems erläutert, das wie oben beschrieben aufgebaut ist.

10

[0013] Wenn die Integral-/Proportionalkonstanten-Berechnungseinheit 20 eine Referenz-Geschwindigkeit (ω_r^*) von einem Benutzer empfängt, ermittelt sie zuerst einen Wert und gibt ihn aus. Das Geschwindigkeitssteuergerät 22 empfängt den Wert und gibt einen Drehmoment-Komponentenstrom ($i_{1\beta}^*$) aus.

10

[0014] Anschließend gibt die Strom-/Spannungsbefehleinheit 10 Gleichstrom-Referenzspannungen ($v_{1\alpha}^*$, $v_{1\beta}^*$) durch Benutzen des Magnetfluss-Komponentenstroms ($i_{1\alpha}^*$) und des Drehmoment-Komponentenstroms ($i_{1\beta}^*$) aus. Die Gleichstrom-Referenzspannungen ($v_{1\alpha}^*$, $v_{1\beta}^*$) werden in zwei Wechselstromphasenbezugsspannungen (v_{1d}^* , v_{1q}^*) durch den Gleichstrom-Wechselstrom-Umsetzer 11 umgewandelt.

15

[0015] Dann empfängt der Phasenspannungsumsetzer 12 die zwei Wechselstrom-Phasen-Referenzspannungen (v_{1d}^* , v_{1q}^*) und gibt drei Phasen-Referenz-Phasenspannungen (v_a^* , v_b^* , v_c^*) aus; und der Umsetzer 14 treibt den Induktionsmotor unter Benutzung der von einer Energiezufuhr gelieferten Spannung sowie der drei Phasen-Referenz-Phasenspannungen (v_a^* , v_b^* , v_c^*) an.

15

[0016] Eine geschätzte Geschwindigkeit ($\hat{\omega}_r$) und ein geschätzter Winkel ($\hat{\theta}_e$) werden wie folgt ermittelt.

20

[0017] Der zwischen dem Inverter 14 und dem Induktionsmotor 15 fließende Strom wird detektiert, um drei Phasenströme (i_a , i_b , i_c) zu erhalten. Die drei Phasenströme (i_a , i_b , i_c) werden in den Zweiphasen-d-Achsenstrom (i_d) und den Zweiphasen-q-Achsenstrom (i_q) umgesetzt, die leicht gesteuert werden können und die von dem Phasenstrom-Umsetzer 17 ausgegeben werden.

20

[0018] Die Magnetfluss-Operatoreinheit 18 empfängt die ausgegebenen Werte (v_{1d}^* , v_{1q}^*) des Gleichstrom-/Wechselstrom-Umsetzers 11 sowie den d-Achsenstrom (i_d) und den q-Achsenstrom (i_q) und schätzt dann den Zweiphasen-Wechselstrom-Magnetfluss, um Zweiphasen-Wechselstrom-Magnetflüsse ($\hat{\lambda}_{2d}$, $\hat{\lambda}_{2q}$) abzuschätzen.

25

[0019] Der Wechselstrom-/Gleichstrom-Umsetzer 19 setzt den Zweiphasen-Wechselstrom-Magnetfluss ($\hat{\lambda}_{2d}$, $\hat{\lambda}_{2q}$) in Zweiphasenwechselstrom-Magnetflüsse ($\hat{\lambda}_{2\alpha}$, $\hat{\lambda}_{2\beta}$) um, die leicht gesteuert werden können; und dann wird die Integral-/Proportionalkonstante-Recheneinheit tätig und ermittelt eine geschätzte Geschwindigkeit ($\hat{\omega}_r$) durch Verwenden der Komponente ($\hat{\lambda}_{2\beta}$) der Zwei-Phasen-Gleichstrom-Magnetflusskomponenten.

30

[0020] Die geschätzte Geschwindigkeit ($\hat{\omega}_r$) und die Ausgabe der Schlupf-Ermittlungseinheit 23 werden addiert, um eine geschätzte Winkelgeschwindigkeit ($\hat{\omega}_e$) zu erhalten; und der Integrierer 25 schätzt einen Winkel ($\hat{\theta}_e$) ab, der für die Referenzbezugssystem-Umwandlung durch Benutzen der geschätzten Winkelgeschwindigkeit ($\hat{\omega}_e$) benötigt wird.

35

[0021] Das oben beschriebene herkömmliche sensorlose Vektorsteuersystem wirft jedoch viele Probleme auf.

35

[0022] Beispielsweise wird, zum Ersten, nur der normale Zustand berücksichtigt, weil die Strom-/Spannungsbefehlseinheit keinen Differentialterm für den magnetischen Fluss enthält, und im Transient-Zustand ist es nicht möglich, eine momentane Drehmoment-Steuerung durchzuführen.

35

[0023] Zweitens müssten, um die geschätzte Geschwindigkeit ($\hat{\omega}_r$) zu erhalten, ein Proportionalkonstantwert und ein Integralkonstantwert exakt berechnet werden, um von der Integrations- und Proportionalkonstanten-Berechnungseinheit 20 verwendet zu werden, was sehr schwierig ist, weil die Werte der Proportionalkonstante und der Integralkonstante bei jedem Motor unterschiedlich sind und im Wesentlichen nur schwer zu erhalten sind.

40

[0024] Drittens wendet das System, wie oben beschrieben, im Falle, dass die Geschwindigkeit eines Motors durch das herkömmliche sensorlose Vektorsteuersystem gesteuert wird, dann, wenn es mit einem Algorithmus für niedrige Geschwindigkeit angesteuert wird, ein Verfahren an, bei dem eine Spannung oder ein Strom hoher Frequenz einer Primärwellenspannung hinzugefügt wird, um nach einer Absolutposition des magnetischen Flusses des Motors zu suchen. Dieses Verfahren ist bei einer niedrigen Geschwindigkeit wirksam, wird aber möglichst nicht bei einer hohen Geschwindigkeit angewandt. Indessen ist im Falle des Hochgeschwindigkeitsalgorithmus, wenn die Geschwindigkeit des Motors gesteuert wird, der Algorithmus bei hoher Geschwindigkeit wirksam, während seine Implementierung bei niedriger Geschwindigkeit sehr schwierig ist. Infolgedessen gelingt es ihm nicht, den gesamten Geschwindigkeitsbereich abzudecken.

45

[0025] Es ist daher Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein sensorloses Vektorsteuersystem für einen Induktionsmotor zu schaffen, das in der Lage ist, in jedem Geschwindigkeitsbereich stabil betrieben zu werden, und das in der Lage ist, die Geschwindigkeit und das Drehmoment exakt zu steuern.

55

[0026] Eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht in der Schaffung eines sensorlosen Vektorsteuersystems für einen Induktionsmotor, das in der Lage ist, automatisch eine konstante Variation eines Motor- und eines Spannungsfehlers im niedrigen Geschwindigkeitsbereich zu kompensieren.

60

[0027] Eine noch weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, einen leicht zu verwirklichenden Algorithmus durch Verringern der Abhängigkeit von einem Parameter des Induktionsmotors sowie eine Rechenoperation ohne Verwenden einer Hochleistungsbetriebseinheit zu schaffen.

60

[0028] Um diese und weitere Vorteile zu erzielen, und in Übereinstimmung mit dem Zweck der vorliegenden Erfindung, wie sie hier verkörpert und ausführlich beschrieben ist, wird ein sensorloses Vektorsteuersystem für einen Induktionsmotor geschaffen, bei dem Spannung von einer Energieversorgungseinheit geliefert wird, um den Induktionsmotor anzutreiben, wobei das System enthält: eine Magnetfluss- und Geschwindigkeitssteureinheit zum Empfangen eines vorbestimmten Befehlswerts und zum Erzeugen von zwei Phasenspannungen einer Gleichspannungskomponente; eine erste Koordinaten-Umwandlungseinheit zum Umwandeln der zwei Phasenspannungen der Gleichspannungskomponente in

65

DE 101 40 034 A 1

- drei Phasenspannungen einer Wechselstromkomponente; einen Inverter zum Empfangen der drei Phasenspannungen der Wechselstromkomponente und zum Antrieben eines Induktionsmotors; eine Stromdetektoreinheit zum Empfangen der drei Phasenspannungen der Wechselstromkomponente, die zwischen dem Inverter und dem Induktionsmotor fließt, sowie Detektieren und Ausgeben von drei Phasenströmen der Wechselstromkomponente; eine zweite Referenz-Rahmen-
5 system-Umwandlungseinheit zum Empfangen der drei Phasenströme der Wechselstromkomponente und zum Umwan-
deln und Ausgeben der zwei Phasenströme der Gleichstromkomponente; eine Magnetfluss- und Geschwindigkeitsab-
schätzungsseinheit zum Empfangen der Zweiphasenspannung der Gleichstromkomponente und der zwei Phasenströme
10 der Gleichstromkomponente, zum Abschätzen des magnetischen Flusses und der Geschwindigkeit, die für eine Vektor-
steuerung erforderlich sind; und eine primäre Widerstandsabschätzungsseinheit zum Empfangen der zwei Phasenspan-
nungen der Gleichstromkomponente, der zwei Phasenströme der Gleichstromkomponente und der geschätzten Werte des
magnetischen Flusses und der Geschwindigkeit, Abschätzen des Primärwiderstandes und Ausgeben desselben.
[0029] Um die obigen Ziele zu erreichen, ist weiter ein sensorloses Vektorsteuerverfahren für einen Induktionsmotor
vorgesehen, in den Energie von einer Energieversorgungseinheit geliefert wird, um einen Induktionsmotor anzutreiben,
wobei das Verfahren die folgenden Schritte einbezieht: Empfangen eines vorbestimmten Befehlswerts und Erzeugen von
15 zwei Phasenspannungen der Gleichstromkomponente; Umsetzen der zwei Phasenspannungen der Gleichstromkompo-
nente in drei Phasenspannungen, um einen Induktionsmotor anzutreiben; Detektieren der Dreiphasenleistung der in den
Induktionsmotor fließenden Wechselstromkomponente, wenn der Induktionsmotor angetrieben wird, sowie Ausgeben
der drei Phasenströme der Wechselstromkomponente; Umsetzen der drei Phasenströme der Wechselstromkomponente in
zwei Phasenströme der Gleichstromkomponente; Empfangen der Spannungen und Ströme der Gleichstromkomponenten
20 und Ausgeben des Magnetfluss- und Geschwindigkeits schätz wertes durch Benutzen eines Algorithmus, die für die Vek-
torsteuerung durch geschätzte Magnetfluss- und Geschwindigkeitswerte erforderlich sind; und Empfangen der Spannun-
gen und Ströme der Gleichstromkomponente und der Magnetfluss- und Geschwindigkeitsschätz werte, und Abschätzen
des Primärwiderstandes durch eine Primärwiderstands-Schätz einrichtung.
[0030] Die genannten sowie weitere Aufgaben, Merkmale, Aspekte und Vorteile der vorliegenden Erfindung gehen aus
25 der nachfolgenden detaillierten Beschreibung der vorliegenden Erfindung im Zusammenhang mit den beigefügten
Zeichnungen deutlicher hervor.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

- 30 [0031] Die beigefügten Zeichnungen, die hier einbezogen sind, um ein tieferes Verständnis der Erfindung zu liefern,
und die eingearbeitet sind und einen Teil dieser Beschreibung bilden, veranschaulichen Ausführungsformen der Erfin-
dung und dienen zusammen mit der Beschreibung dazu, die Prinzipien der Erfindung zu erklären.
[0032] Fig. 1 ist ein schematisches Blockdiagramm, das den Aufbau eines allgemeinen sensorlosen Vektorsteuersy-
stems zeigt;
35 [0033] Fig. 2 ist ein schematisches Blockdiagramm, das den Aufbau eines sensorlosen Vektorsteuersystems eines In-
duktionsmotors gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt;
[0034] Fig. 3 ist eine Ansicht, die den Aufbau einer Magnetfluss- und Geschwindigkeitssteuereinheit des sensorlosen
Vektorsteuersystems eines Induktionsmotors gemäß der bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung
zeigt;
40 [0035] Fig. 4 ist eine Ansicht, die den Aufbau einer Magnetfluss- und Geschwindigkeitsabschätzungsseinheit des sen-
sorlosen Vektorsteuersystems eines Induktionsmotors gemäß der bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfin-
dung zeigt;
[0036] Fig. 5 ist eine Ansicht, die den Aufbau einer Magnetfluss- und Geschwindigkeitsbetriebseinheit des sensorlosen
Vektorsteuersystems eines Induktionsmotors gemäß der bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung
zeigt; und
45 [0037] Fig. 6 ist eine Ansicht, die den Aufbau einer Primärwiderstands-Abschätzungsseinheit zum Schätzen eines Pri-
märwiderstandswertes des sensorlosen Vektorsteuersystems eines Induktionsmotors gemäß der bevorzugten Ausfi-
hrungsform der vorliegenden Erfindung zeigt.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSFORMEN

- [0038] Nachfolgend wird im Detail auf die bevorzugten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung Bezug ge-
nommen, von denen Beispiele in den beigefügten Zeichnungen veranschaulicht sind.
[0039] Fig. 2 ist ein schematisches Blockdiagramm, das den Aufbau eines sensorlosen Vektorsteuersystems eines In-
duktionsmotors gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt.
55 [0040] Wie in Fig. 2 dargestellt, enthält ein sensorloses Vektorsteuersystem eines Induktionsmotors, bei dem die Ener-
gie von einer Energieversorgungseinheit 34 zum Antrieben des Induktionsmotors geliefert wird: eine Magnetfluss- und
Geschwindigkeitssteuereinheit 30 zum Empfangen eines vorbestimmten Befehlswertes und zum Erzeugen von zwei
Phasenspannungen einer Gleichspannungskomponente; eine erste Referenz-Rahmensystem-Umwandlungseinheit 31
60 zum Umwandeln der zwei Phasenspannungen der Gleichspannungskomponente in drei Phasenspannungen einer Wech-
selstromkomponente; einen Inverter 35 zum Empfangen der drei Phasenspannungen der Wechselstromkomponente und
zum Antrieben eines Induktionsmotors; eine Stromdetektoreinheit 37 zum Detektieren der Dreiphasenenergie der Wech-
selstromkomponente, die zwischen dem Inverter und dem Induktionsmotor fließt, und zum Detektieren und Ausgeben
von drei Phasenströmen der Wechselstromkomponente; eine zweite Referenz-Rahmensystem-Umwandlungseinheit 38
65 zum Empfangen der drei Phasenströme der Wechselstromkomponente und zum Umwandeln und Ausgeben der zwei
Phasenströme der Gleichstromkomponente; eine Magnetfluss- und Geschwindigkeitsabschätzungsseinheit 41 zum Emp-
fangen der Zweiphasenspannung der Gleichstromkomponente und der zwei Phasenströme der Gleichstromkomponente,
die einen magnetischen Fluss und eine Geschwindigkeit abschätzen, die für eine Vektorsteuerung erforderlich sind; und

DE 101 40 034 A 1

eine primäre Widerstandsabschätzungseinheit 42 zum Empfangen der zwei Phasenspannungen der Gleichstromkomponente, der zwei Phasenströme der Gleichstromkomponente und der geschätzten Werte des magnetischen Flusses und der Geschwindigkeit, zum Abschätzen des Primärwiderstandes und Ausgeben desselben.

[0041] Die erste Referenz-Rahmensystem-Umwandlungseinheit 31 enthält einen Synchron-/Stationär-Bezugssystem-Umsetzer 32 zum Empfangen der beiden Phasenspannungen (v_{qs}^* , v_{ds}^*) der Gleichstromkomponente; sie setzt sie in zwei Phasenspannungen (v_{qs}^* , v_{ds}^*) auf einem stationären Bezugssystem um und gibt sie aus; und einen Zweiphasen- bis Dreiphasen-Referenz-Rahmensystem-Umsetzer 33 zum Umwandeln der zwei Phasenspannungen (v_{qs}^* , v_{ds}^*) auf dem stationären Referenz-Rahmensystem in drei Phasenspannungen (v_a^* , v_b^* , v_c^*) der Wechselstromkomponente, sowie Ausgeben derselben. 5

[0042] Die zweite Referenz-Rahmensystem-Umsetzungseinheit 38 enthält einen Dreiphasen-/Zweiphasen-Referenz-Rahmensystem-Umsetzer 39 zum Empfangen von drei Phasenströmen (i_a , i_b , i_c) der Wechselstromkomponente; Umwandeln derselben in zwei Phasenströme (i_{qs}^* , i_{ds}^*) und Ausgeben derselben; und einen Stationär-/Synchron-Systemumsetzer 40 zum Empfangen der zwei Phasenströme (i_{qs}^* , i_{ds}^*) der Gleichstromkomponente, Umsetzen derselben in zwei Phasenströme (i_{qs}^* , i_{ds}^*) und Ausgeben derselben. 10

[0043] Die Wirkungsweise des sensorlosen Vektorsteuersystems eines wie oben beschrieben ausgebildeten Induktionsmotors wird nunmehr beschrieben. 15

[0044] Bei dem sensorlosen Vektorsteuerverfahren zum Empfangen einer Referenz von einem Benutzer zum Steuern der Geschwindigkeit eines Induktionsmotors wird eine Referenzspannung (ω_r^*) von dem Benutzer empfangen, und ein magnetischer Referenzfluss (λ_{dr}^*) des Induktionsmotors wird empfangen, um eine q-Achsenspannung (v_{qs}^*) auf einem synchronen Koordinatensystem und einer d-Achsenspannung (v_{ds}^*) auf dem Synchron-Referenz-Rahmensystem auszugeben. 20

[0045] Die q-Achsenspannung (v_{qs}^*) und die d-Achsenspannung (v_{ds}^*) auf dem Synchron-Referenz-Rahmensystem werden in zwei Phasenspannungen (v_{qs}^* , v_{ds}^*) auf dem stationären Referenz-Rahmensystem umgesetzt und als Eingabeenergiequelle des magnetischen Flusses und der Geschwindigkeitsabschätzungseinheit 41 benutzt; und, um den Induktionsmotor 36 anzutreiben, werden die beiden Phasenspannungen (v_{qs}^* , v_{ds}^*) auf dem Koordinatensystem in drei Phasenspannungen (v_a^* , v_b^* , v_c^*) umgesetzt. 25

[0046] Anschließend empfängt der Inverter 35 die drei Phasenspannungen (v_a^* , v_b^* , v_c^*), zusammen mit einer Gleichstrom-Anschluss-Detektierspannung (v_{dc}), geliefert von einem Energieversorger, und treibt den Induktionsmotor 36 gemäß seiner Schaltsteuerung an. 30

[0047] In diesem Zeitpunkt, wenn der Induktionsmotor 36 angetrieben wird, werden drei Phasenströme (i_a , i_b , i_c) detektiert, die zwischen dem Inverter 36 und dem Induktionsmotor 35 fließen; und die detektierten drei Phasenströme (i_a , i_b , i_c) werden in zwei Phasenströme auf dem statischen Koordinatensystem umgewandelt, die als Eingabestrom an die Abschätzungseinheit 39 für den magnetischen Fluss und die Geschwindigkeit geliefert werden; und die zwei Phasenströme (i_{qs}^* , i_{ds}^*) auf dem statischen Koordinatensystem werden in zwei Phasenströme (i_{qs}^* , i_{ds}^*) auf dem Synchron-Referenz-Rahmensystem umgesetzt. 35

[0048] Dementsprechend empfängt die Abschätzungseinheit 39 für den magnetischen Fluss und die Geschwindigkeit die Spannungen (v_{qs}^* , v_{ds}^*) auf dem stationären Bezugssystem und sie empfängt die Ströme (i_{qs}^* , i_{ds}^*) auf dem stationären Referenz-Rahmensystem; und sie schätzt den vom Gleichstrom erzeugten magnetischen Fluss (λ_{dr}^*) der d-Achse, den vom Gleichstrom erzeugten magnetischen Fluss (λ_{qr}^*) auf der q-Achse, den Winkel (θ_r) der magnetischen Durchflutung, die Winkelgeschwindigkeit ($\dot{\theta}_r$) des magnetischen Flusses und eine geschätzte Geschwindigkeit ($\hat{\omega}_r$). 40

[0049] Die primäre Widerstandsabschätzungseinheit 42 empfängt: die zwei Phasenströme (i_{qs}^* , i_{ds}^*) auf dem Synchron-Referenz-Rahmensystem, die Spannung (v_{ds}^*) der d-Achse und die Ausgabewerte ($\hat{\omega}_r$, $\hat{\theta}_r$, λ_{dr}^* , λ_{qr}^*) der Abschätzungseinheit 41 für den magnetischen Fluss und die Geschwindigkeit; sie schätzt den primären Widerstand (R_s) ab und gibt ihn an die Abschätzungseinheit 41 für den magnetischen Fluss und die Geschwindigkeit aus, so dass der Induktionsmotor konstant durch das Vektorsteuersystem gesteuert werden kann, ohne dass Bedarf für einen Geschwindigkeitssensor besteht. 45

[0050] Fig. 3 ist eine Ansicht, die den Aufbau der den magnetischen Fluss und die Geschwindigkeit steuernde Einheit des sensorlosen Vektorsteuersystems eines Induktionsmotors gemäß der bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung veranschaulicht. 50

[0051] Wie in Fig. 3 dargestellt, enthält die Steuereinheit für den magnetischen Fluss und die Geschwindigkeit: eine erste Operatoreinheit 42 zum Empfangen der Referenzgeschwindigkeit (ω_r^*) und der geschätzten Geschwindigkeit ($\hat{\omega}_r$) und bearbeitet sie dann arithmetisch; ein Geschwindigkeitssteuergerät 44 zum Empfangen der Ausgabe der ersten Operatoreinheit und zum Ausgeben eines Referenz-Drehmomentkomponenten-Stromes (i_{qs}^*); eine zweite Operatoreinheit zum Empfangen des Referenz-Drehmomentkomponenten-Stromes (i_{qs}^*) und des Drehmomentkomponenten-Stromes (i_{ds}^*) auf dem Koordinatensystem und verarbeitet sie rechnerisch; ein Drehmomentkomponenten-Stromsteuergerät 46 zum Empfangen der Ausgabe der zweiten Operatoreinheit, und Erzeugen einer q-Achsenspannung (v_{qs}^*) auf dem Synchron-Referenz-Rahmensystem; eine dritte Operatoreinheit 47 zum Empfangen des magnetischen Referenzflusses (λ_{dr}^*) und des geschätzten magnetischen Flusses (λ_{dr}^*) des Induktionsmotors; und rechnerische Verarbeitung derselben; eine Magnetflusssteuereinheit 48 zum Empfangen der Ausgabe des dritten Operators und Ausgeben eines Magnetfluss-Komponenten-Offset-Stroms ($i_{ds_offset}^*$), eine Magnetfluss-Stromoperatoreinheit 49 zum Empfangen des Referenz-Magnetflusses (λ_{dr}^*) des Induktionsmotors, und Ausgeben eines anfänglichen Magnetfluss-Komponentenstroms ($i_{ds_init}^*$); eine vierte Operatoreinheit 50 zum Empfangen des Magnetfluss-Komponenten-Offset-Stroms ($i_{ds_init}^*$) und des anfänglichen Magnetfluss-Komponentenstroms ($i_{ds_init}^*$) und Verarbeiten derselben; eine fünfte Operatoreinheit 51 zum Empfangen des Ausgabewertes (i_{ds}^*) der vierten Operatoreinheit 48 sowie des Magnetfluss-Komponentenstroms (i_{ds}^*) auf dem Synchron-Referenz-Rahmensystem; und ein Magnetfluss-Komponenten-Stromsteuergerät 52 zum Empfangen der Ausgabe der fünften Operatoreinheit, und Erzeugen einer d-Achsenspannung (v_{ds}^*) auf dem Synchron-Referenz-Rahmensystem. 60

[0052] Nachfolgend wird die Betriebsweise der Magnetfluss- und Geschwindigkeitssteuereinheit des sensorlosen Vektorsteuersystems eines Induktionsmotors, der wie oben beschrieben, ausgebildet ist, erläutert. 65

DE 101 40 034 A 1

- [0053] Als Erstes muss zum Erzeugen einer q-Achsen Spannung (v_{qs}^*) auf dem Synchron-Referenz-Rahmensystem durch Benutzen der Referenzgeschwindigkeit (ω_r^*) ein Drehmoment-Komponentenstrom gesteuert werden.
- [0054] Dementsprechend werden die Referenzgeschwindigkeit (ω_r^*) und die geschätzte Geschwindigkeit ($\hat{\omega}_r$) vom Benutzer empfangen, und der Betriebswert wird ausgegeben. Dann gibt nach Empfangen der Ausgabe das Geschwindigkeitssteuergerät einen Referenz-Drehmoment-Komponentenstrom (i_{qs}^*) aus. In diesem Zeitpunkt kann, wenn das Drehmoment-Stromsteuergerät 44 einen Differenzwert zwischen dem Referenz-Drehmoment-Komponentenstrom (i_{qs}^*) und dem Drehmoment-Komponentenstrom (i_{qs}) auf dem synchronen Koordinatensystem empfängt, die q-Achsen Spannung (v_{qs}^*) auf dem Synchron-Referenz-Rahmensystem erzeugt werden.
- [0055] Zusätzlich muss, um die d-Achsen Spannung (v_d^*) auf dem Synchron-Referenz-Rahmensystem durch Benutzen des Referenz-Magnetflusses (λ_{dr}^*) zu erzeugen, der Magnetfluss-Komponentenstrom gesteuert werden.
- [0056] Dementsprechend wird der Differenzwert zwischen dem Referenz-Magnetfluss (λ_{dr}^*) und dem geschätzten Magnetfluss ($\hat{\lambda}_{dr}$) des Induktionsmotors ausgegeben, und der Magnetfluss-Komponenten-Offset-Strom ($i_{ds_offset}^*$) wird ausgegeben.
- [0057] Zu diesem Zeitpunkt empfängt die Magnetfluss-Stromoperatoreinheit 49 den Referenz-Magnetfluss (λ_{dr}^*) des Induktionsmotors und gibt den anfänglichen Magnetfluss-Komponentenstrom ($i_{ds_ini}^*$) aus.
- [0058] Dementsprechend kann der Ausgabewert (i_{ds}^*) der vierten Operatoreinheit durch Benutzen des Magnetfluss-Komponenten-Offsetstroms ($i_{ds_offset}^*$) und des anfänglichen Magnetfluss-Komponentenstroms ($i_{ds_ini}^*$) erhalten werden. Zu diesem Zeitpunkt kann das Magnetfluss-Komponenten-Stromsteuergerät 52 die d-Achsen Spannung (v_d^*) auf dem Synchron-Referenz-Rahmensystem durch Benutzen des Differenzwertes zwischen dem Ausgabewert (i_{ds}^*) des vierten Operatorgliedes und der aktuelle Magnetfluss-Komponentenstrom (i_{ds}) erzeugen.
- [0059] Fig. 4 ist eine Darstellung, die den Aufbau einer Magnetfluss- und Geschwindigkeit-Abschätzungseinheit des sensorlosen Vektorsteuersystem-Steuersystems eines Induktionsmotors gemäß der bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt.
- [0060] Wie in Fig. 4 dargestellt enthält die Magnetfluss- und Geschwindigkeit-Abschätzungseinheit: eine Rotor-Magnetfluss-Abschätzungseinheit 53 gemäß einem Strommodell, das einen ersten Koordinaten-Umsetzer 54 zum Empfangen der Werte der Zweiphasenströme ($i_{dqs}^*, i_{ds}^*, i_{qs}^*$), dargestellt im stationären Referenz-Rahmensystem aufweist, und setzt dieselben in die Werte des Synchron-Referenz-Rahmensystems um und gibt sie aus; eine sechste Operatoreinheit 57 zum Ausgeben der Differenz zwischen einem Wert, der durch Multiplizieren der Ausgabewerte ($i_{dqs}^*, i_{ds}^*, i_{qs}^*$) des ersten Koordinaten-Umsetzers 54 mit einer Induktionsmotor-Konstanten

$$(\frac{L_m}{L_r}),$$

und eines Wertes erhalten durch Multiplizieren des Rotor-Magnetflusses ($\hat{\lambda}_{dqr}, \hat{\lambda}_{dr}, \hat{\lambda}_{qr}$) auf dem Synchron-Referenz-Rahmensystem mit einer Zeitkonstanten

$$(\frac{l}{T_r})$$

59, definiert durch die Induktionsmotor-Konstante; einen ersten Integrierer 58 zum Empfangen des Ausgabewertes der sechsten Operatoreinheit 47 und Ausgeben des Rotor-Magnetflusses ($\hat{\lambda}_{dqr}$) auf dem Synchron-Referenz-Rahmensystem; einen zweiten Integrierer 55 zum Empfangen einer geschätzten Geschwindigkeit ($\hat{\omega}_r$), ermittelt durch eine Magnetfluss- und Geschwindigkeit-Operatoreinheit 71 (noch zu beschreiben) und Integrieren derselben; und einen zweiten Koordinaten-Wandler 60 zum Empfangen des ausgegebenen Wertes ($\hat{\lambda}_{dqr}$) des ersten Integrierers 59 und des ausgegebenen Wertes des zweiten Integrierers 55 und zur Referenz-Rahmensystem-Umwandlung derselben, und Ausgeben eines Rotor-Magnetflusses ($\hat{\lambda}_{dqr_cm}$) auf dem stationären Referenz-Rahmensystem; eine Rotor-Magnetfluss-Abschätzeinheit 63 mit einer achten Operatoreinheit 65 zum Ermitteln des Wertes des aktuellen Stroms (i_{dqs}^*), erhalten durch Multiplizieren berechneter Spannungswerte ($v_{dqs}^*, v_{ds}^*, v_{qs}^*$) des stationären Referenz-Rahmensystem-Umsetzers und des Primärwiderstands 64, und Ausgeben des Wertes; eine neunte Operatoreinheit 66 zum Ermitteln des Ausgabewertes der achten Operatoreinheit 65 und des Ausgabewertes der Steuereinheit 62 (noch zu beschreiben), und Ausgeben des Wertes; einen dritten Integrierer 67 zum Integrieren des Ausgabewertes der neunten Operatoreinheit 66; eine zehnte Operatoreinheit 69 zum Ermitteln des Differenzwertes zwischen einem Wert, erhalten durch Multiplizieren des tatsächlichen Stroms (i_{dqs}) durch eine Leckkomponente (σL_s) 68 des magnetischen Flusses mit dem Ausgabewert des dritten Integrierers 57 und einer Induktionsmotor-Konstanten

$$(\frac{L_m}{L_r})$$

70; eine siebte Operatoreinheit 61 zum Ermitteln des Wertes ($\hat{\lambda}_{dqr_vm}$) ausgegeben nach der Multiplikation des Ausgabewertes der zehnten Operatoreinheit 69 mit der Induktionsmotor-Konstanten

$$(\frac{L_m}{L_r})$$

70 und mit dem Ausgabewert ($\hat{\lambda}_{dqr_cm}$) des Umsetzers des zweiten stationären Bezugssystems; eine Steuergerät 62 zum Empfangen des ausgegebenen Wertes der siebten Operatoreinheit 61, Ermitteln desselben als Proportional-Konstante, und Ausgeben der Schätzwerte ($\hat{\lambda}_{dqr}, \hat{\lambda}_{dr}, \hat{\lambda}_{qr}$) des Rotor-Magnetflusses; und eine Magnetfluss- und Geschwindigkeit-Operatoreinheit 69 zum Empfangen des geschätzten Wertes ($\hat{\lambda}_{dqr}$) des magnetischen Flusses und Ermitteln des für die

DE 101 40 034 A 1

Vektorsteuerung erforderlichen Wertes.

[0061] Die Betriebsweise der Abschätzungseinheit für den magnetischen Fluss und die Geschwindigkeit im sensorlosen Vektorsteuersystem eines Induktionsmotors, das wie oben beschrieben ausgebildet ist, wird nun erklärt.

[0062] Die Abschätzungsoperation für den Magnetfluss und die Geschwindigkeit erfolgt durch Benutzen einer CPU (Zentraleinheit) oder eines DSP (Digital-Signal-Prozessor).

[0063] Die Abschätzungseinheit für den magnetischen Fluss und die Geschwindigkeit der vorliegenden Erfindung, die keinen Geschwindigkeitssensor aufweist, schätzt den Rotor-Magnetfluss ($\hat{\lambda}_{dar,cm}$) gemäß einem Strommodell ab, und sie bestimmt den Rotor-Magnetfluss ($\hat{\lambda}_{dar,vn}$) gemäß einem Spannungsmodell durch Benutzen des Stroms und der Spannung, ausgedrückt in einem stationären Referenz-Rahmensystem. Sie erhält den Differenzwert zwischen dem geschätzten Wert des Spannungsmodells und dem geschätzten Wert des Strommodells. Sie multipliziert den Differenzwert mit dem Wert der Proportional-Konstanten im Verhältnis zur Geschwindigkeit des Induktionsmotors, wodurch der geschätzte Wert ($\hat{\lambda}_{dar}$) des magnetischen Flusses erhalten wird. Dementsprechend können Werte (θ_e , $\dot{\theta}_e$, $\ddot{\theta}_e$, $\hat{\lambda}_{dar}$, $\lambda_{schlupf}$) unter Benutzung des Schätzwertes ($\hat{\lambda}_{dar}$) des magnetischen Flusses erhalten werden.

[0064] Als erstes soll nun die Betriebsweise der Abschätzeinrichtung 53 des Rotor-Magnetflusses gemäß dem aktuellen Modell beschrieben werden.

[0065] Der erste Koordinaten-Umsetzer 54 empfängt den aktuellen Strom (i_{ds}^*) auf dem stationären Referenz-Rahmen-System sowie den ausgegebenen Wert des zweiten Integrierers 55; setzt sie in einen Strom des Synchron-Referenz-Rahmensystems um und gibt ihn aus.

[0066] Demgemäß empfängt die sechste Operatoreinheit 56 den durch die Multiplikation des Ausgabewertes (i_{ds}^*) mit der Induktionsmotor-Konstanten

$$\left(\frac{L_m}{L_r} \right)$$

erhaltenen Wert, und empfängt gleichzeitig den durch die Multiplikation des Rotor-Magnetflusses ($\hat{\lambda}_{dar}$) auf dem Synchron-Referenzrahmen-System mit der Zeitkonstanten

$$\left(\frac{1}{T_r} \right)$$

59 erhaltenen Wert, definiert als Induktionsmotor-Konstante; sie berechnet die Differenz und gibt sie aus.

[0067] Anschließend empfängt der erste Integrierer 58 den ausgegebenen Wert der sechsten Operatoreinheit 55 und gibt den Rotor-Magnetfluss ($\hat{\lambda}_{dar}$) an das Synchron-Koordinatensystem aus. Dementsprechend empfängt der Umsetzer 60 des zweiten Referenz-Rahmensystems den ausgegebenen Wert ($\hat{\lambda}_{dar}'$) des ersten Integrierers 58 und des ausgegebenen Wertes des zweiten Integrierers 55; führt die Koordinaten-Umsetzung durch; und gibt den Rotor-Magnetfluss ($\hat{\lambda}_{dar,cm}$) gemäß dem Strommodell aus.

[0068] Der Rotor-Magnetfluss ($\hat{\lambda}_{dar}$) des Synchron-Referenzrahmen-Systems gemäß dem Abschätzungsverfahren für den magnetischen Fluss wird wie folgt ermittelt:

$$\frac{d\hat{\lambda}_{dr}}{dt} = -\frac{r_r}{L_r} \hat{\lambda}_{dr} + r_r \frac{L_m}{L_r} i_{ds}^r \quad (1)$$

$$\frac{d\hat{\lambda}_{qr}}{dt} = -\frac{r_r}{L_r} \hat{\lambda}_{qr} + r_r \frac{L_m}{L_r} i_{qs}^r \quad (2)$$

wobei: "L_r" eine Synchron-Reaktanz bezeichnet; "L_m" eine magnetisierte Reaktanz bezeichnet, "r_r" bezeichnet den Widerstand der Synchronisationsseite; und "i_{ds}^r" sowie "i_{qs}^r" bezeichnet den Strom auf dem Synchron-Referenzrahmen-System.

[0069] Die Gleichungen (1) und (2) dienen dazu, den Rotor-Magnetfluss auf dem Synchron-Referenzrahmen-System zu ermitteln, der im Verhältnis zum Rotor-Magnetfluss ($\hat{\lambda}_{dr}$, $\hat{\lambda}_{qr}$) auf dem statischen Koordinatensystem wie folgt ausgedrückt werden soll:

$$\hat{\lambda}_{dr} = \hat{\lambda}_{dr}' \cos \theta_r - \hat{\lambda}_{qr}' \sin \theta_r, \quad (3)$$

$$\hat{\lambda}_{qr} = \hat{\lambda}_{dr}' \sin \theta_r + \hat{\lambda}_{qr}' \cos \theta_r, \quad (4)$$

[0070] Die Wirkungsweise der Abschätzeinheit für den Rotor-Magnetfluss gemäß dem Spannungsmodell soll nun mehr beschrieben werden.

[0071] Die achte Operatoreinheit 65 berechnet den aktuellen Stromwert (i_{ds}^*), erhalten durch Multiplikation der Berechnungswert-Spannung (v_{ds}^*) des Umsetzers des stationären Referenz-Rahmensystems mit dem Primärwiderstand 64.

[0072] Die neunte Operatoreinheit 66 empfängt den ausgegebenen Wert der achten Operatoreinheit 63 sowie den ausgegebenen Wert der Steureinheit 62, berechnet sie und gibt sie aus.

[0073] Der dritte Integrierer 67 integriert den ausgegebenen Wert der neunten Operatoreinheit 66.

DE 101 40 034 A 1

[0074] Anschließend empfängt die zehnte Operatoreinheit 69 den durch die Multiplikation des aktuellen Stroms (i_{ds}^*) mit der Leckkomponente des magnetischen Flusses (σL_s) 68 erhalten wurde, und berechnet einen Differenzwert.

[0075] Demgemäß kann der Rotor-Magnetfluss ($\hat{\lambda}_{dqr_vm}^*$) gemäß dem Spannungsmodell durch Multiplizieren des Ausgabewertes der zehnten Operatoreinheit 69 mit der Induktionsmotor-Konstanten

$$5 \quad \left(\frac{L_m}{T_r} \right)_1$$

70 erhalten werden.

10 [0076] Der Rotor-Magnetfluss ($\hat{\lambda}_{dr}^*, \hat{\lambda}_{qr}^*$) auf dem statischen Koordinatensystem gemäß dem Abschätzungsverfahren des magnetischen Flusses kann durch die folgenden Gleichungen erhalten werden:

$$\hat{\lambda}_{ds}^* = \int (V_{ds}^* - r_s i_{ds}^*) dt \quad (5)$$

$$15 \quad \hat{\lambda}_{qs}^* = \int (V_{qs}^* - r_s i_{qs}^*) dt \quad (6)$$

[0077] Wobei "V_{ds}^{*}" und "V_{qs}^{*}" die Spannung auf dem stationären Referenz-Rahmensystem anzeigen; wobei in "i_{qs}^{*}" und "i_{ds}^{*}" die Ströme auf dem stationären Bezugrahmensystem anzeigen; und wobei "r_s" den Primärwiderstand angibt.

20 [0078] Anhand der Gleichungen (5) und (6) können die folgenden Rotor-Magnetflüsse ($\hat{\lambda}_{dr}^*, \hat{\lambda}_{qr}^*$) unter Berücksichtigung des magnetischen Leckfluss-Komponente (σL_s) des Stators erhalten werden:

$$25 \quad \hat{\lambda}_{dr}^* = \frac{L_r}{L_m} (\hat{\lambda}_{ds}^* - \sigma L_s i_{ds}^*) \quad (7)$$

$$\hat{\lambda}_{qr}^* = \frac{L_r}{L_m} (\hat{\lambda}_{qs}^* - \sigma L_s i_{qs}^*) \quad (8)$$

30 wobei: "L_r" die Synchron-Reaktanz bezeichnet; "L_m" die magnetisierte Reaktanz bezeichnet; und "i_{qs}^{*}" und "i_{ds}^{*}" die Ströme auf dem stationären Referenz-Rahmensystem bezeichnen.

[0079] Dementsprechend wird die Abschätzmethode für den Rotor-Magnetfluss, die das Strommodell benutzt, im unteren Geschwindigkeitsbereich zusammen mit einem Tiefpassfilter benutzt, um die Erstellung eines Magnetfluss-Abschätzfehlers gemäß der motorkonstanten Veränderung zu verhindern; während das Rotor-Magnetfluss-Abschätzungsverfahren, das das Spannungsmodell benutzt, im Hochgeschwindigkeitsbereich zusammen mit einem Hochpassfilter angewandt wird, um Probleme wie das Variations-Offset, die Sättigung des Integrierers, den Abfall der Stator-Impedanz bei niedriger Geschwindigkeit und den Magnetfluss-Abschätzfehler durch Rauschen zu beseitigen.

35 [0080] Da das Strommodell und das Spannungsmodell eine Integralfunktion und eine Differentialfunktion benutzen, kann zusätzlich das momentane Drehmoment – die Stärke der Vektorsteuerung – gesteuert werden. Dabei ist der für das Steuergerät benutzte Wert ein konstanter Wert proportional zur Geschwindigkeit des Induktionsmotors, so dass er leicht im Geschwindigkeitsbereich bestimmt werden kann.

40 [0081] Die nachfolgende Gleichung (9) kann durch Anwenden eines passenden Filters am Spannungsmodell und am Strommodell erhalten werden.

$$45 \quad \hat{\lambda}_{dqr}^* = \frac{s}{s + K_p} \hat{\lambda}_{dqr_vm}^* + \frac{K_p}{s + K_p} \hat{\lambda}_{dqr_cm}^* \quad (9)$$

50 [0082] In diesem Falle bedeutet der Schätzwert ($\hat{\lambda}_{dqr}^*$) des magnetischen Flusses, der für die Vektorsteuerung benötigt wird, einen magnetischen Fluss, der unter Benutzung des Rotor-Magnetflusses ($\hat{\lambda}_{dqr_cm}^*$) gemäß dem Strommodell sowie des Rotor-Magnetflusses ($\hat{\lambda}_{dqr_vm}^*$) gemäß dem Spannungsmodell abgeschätzt wird. Das Spannungsmodell verwendet den Hochpassfilter

$$55 \quad \left(\frac{s}{s + K_p} \right),$$

während das Strommodell den Tiefpassfilter

$$60 \quad \left(\frac{K_p}{s + K_p} \right)$$

benutzt, um den definitiven Rotor-Magnetfluss abzuschätzen.

[0083] Fig. 5 ist eine Ansicht, die den Aufbau der Magnetfluss- und Geschwindigkeits-Betriebseinheit des sensorlosen Vektorsteuersystems für einen Induktionsmotor gemäß der bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung veranschaulicht.

[0084] Wie in Fig. 5 dargestellt ist, enthält die Magnetfluss- und Geschwindigkeits-Betriebseinheit des sensorlosen Vektorsteuersystems des Induktionsmotors: eine Arc_tan()-Funktion 72 zum Empfangen des geschätzten Magnetfluss-

DE 101 40 034 A 1

wertes ($\hat{\lambda}_{dr}^*$) und Abschätzen eines Magnetflusswinkels ($\hat{\theta}_e$); ein Differenzierglied 74 zum Empfangen des geschätzten Magnetflusswinkels und zum Abschätzen der Magnetflusswinkel-Geschwindigkeit ($\hat{\omega}_e$); einen dritten Referenz-Rahmensystem-Umsetzer 73 zum Empfangen des geschätzten Magnetflusswertes ($\hat{\lambda}_{dr}^*$) und des Magnetflusswinkels ($\hat{\theta}_e$), und zum Ausgeben eines Gleichstrom-Magnetflusses ($\hat{\lambda}_{dr}^*$) auf dem Synchron-Referenzrahmen-System; eine Einheit 75 zum Abschätzen der Schlupf-Winkelgeschwindigkeit für das Empfangen des Ausgabewertes des dritten Umsetzers des Referenz-Rahmensystems, sowie einem Strom (i_s^*) auf dem Synchron-Referenzrahmen-System, und Abschätzen der Schlupf-Winkelgeschwindigkeit ($\hat{\omega}_{schlupf}$); und eine erste Operatoreinheit 76 zum Ermitteln des Ausgabewertes ($\hat{\omega}_e$) des Differenziergliedes und der geschätzten Schlupf-Winkelgeschwindigkeit ($\hat{\omega}_{schlupf}$), und zum Ausgeben einer geschätzten Geschwindigkeit ($\hat{\omega}_r$). 5

[0085] Nachfolgend wird die Betriebsweise der Magnetfluss- und der Geschwindigkeits-Betriebseinheit des sensorlosen Vektorsteuersystems eines Induktionsmotors, ausgebildet wie oben beschrieben, erklärt. 10

[0086] Zuerst wird der Magnetfluss-Winkel ($\hat{\theta}_e$) unter Benutzung des geschätzten Magnetfluss-Wertes ($\hat{\lambda}_{dr}^*$), erhalten aus dem Spannungsmodell, dem Strommodell und der Arc_tan()-Funktion 72, abgeschätzt; und der geschätzte Magnetfluss-Winkel ($\hat{\theta}_e$) wird empfangen, um die Magnetfluss-Winkelgeschwindigkeit ($\hat{\omega}_e$) unter Benutzung des Differenziergliedes 74 abzuschätzen. 15

[0087] Zu diesem Zeitpunkt empfängt der dritte Koordinatenumsetzer 73 den geschätzten Magnetflusswert ($\hat{\lambda}_{dr}^*$) und den magnetischen Flusswinkel ($\hat{\theta}_e$) und gibt den Gleichstrom-Magnetfluss ($\hat{\lambda}_{dr}^*$) an das Synchron-Referenzrahmen-System aus; und die Einheit 75 zum Schätzen der Schlupf-Winkelgeschwindigkeit empfängt den magnetischen d-Achsen-Flusswert ($\hat{\lambda}_{dr}^*$) des ausgegebenen Wertes ($\hat{\lambda}_{dr}^*$) des Umsetzers des dritten Referenz-Rahmensystems, sowie den Strom (i_s^*) auf dem Synchron-Referenzrahmen-System, und schätzt dann die Schlupf-Winkelgeschwindigkeit ($\hat{\omega}_{schlupf}$). Dementsprechend kann die geschätzte Geschwindigkeit ($\hat{\omega}_r$) durch Berechnen des Ausgabewertes ($\hat{\omega}_e$) des Differenziergliedes und der geschätzten Schlupf-Winkelgeschwindigkeit ($\hat{\omega}_{schlupf}$) erhalten werden. 20

[0088] Fig. 6 ist eine Ansicht, die den Aufbau der Einheit zum Abschätzen des Primärwiderständes im Hinblick auf die Abschätzung des Primär-Widerstandswertes des sensorlosen Vektorsteuersystems eines Induktionsmotors gemäß der bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung veranschaulicht. 25

[0089] Wie in Fig. 6 dargestellt, enthält die Primärwiderstand-Abschätzeinheit zum Schätzen des Primärwiderstandswertes des sensorlosen Vektorsteuersystems: eine zwölftes Operatoreinheit 77 zum Empfangen der d-Achsen-Spannung (v_{ds}^*) auf dem Synchron-Referenzrahmen-System sowie der d-Achsen-Spannung (v_{dr}^*) auf dem Synchron-Referenzrahmen-System einer Eingabe-Spannungs-Operatoreinheit 78 (die noch beschrieben wird), und er führt ihn aus; ein Steuergerät 79 zum Empfangen des Ausgabewertes der zwölften Operatoreinheit 77 und zum Ausgeben eines Primärwiderstand-Offsetwertes; einen Begrenzer zum Empfangen des Primärwiderstand-Offsetwertes und zum Begrenzen desselben auf einen vorbestimmten Wert; ein Tiefpassfilter 81 zum Empfangen des Ausgabewertes des Begrenzers 80, wobei der nicht benötigte Abschnitt entfernt und ein gefilterter Wert (r_{s_offset}) ausgegeben wird; eine dreizehnte Operatoreinheit 82 zum Verarbeiten des durch Tiefpass gefilterten Wertes und des anfänglichen Primärwiderstandswertes (r_{s_init}) und zum Schätzen eines Primärwiderstandswertes (\hat{r}_s); und die Eingabespannung-Operatoreinheit 78 zum Empfangen des geschätzten Primärwiderstandswertes (\hat{r}_s), der Werte ($\hat{\omega}_e$, $\hat{\omega}_r$, $\hat{\lambda}_{dr}^*$, $\hat{\lambda}_{qr}^*$) von der Einheit zum Abschätzen des Magnetflusses und der Geschwindigkeit sowie der beiden Phasenströme (i_{ds}^* , i_{dr}^*) des Synchron-Referenzrahmen-Systems, und zum Ausgeben der d-Achsen-Spannung (v_{dr}^*) auf dem Synchron-Referenzrahmen-System. 30

[0090] Nachfolgend wird die Betriebsweise der Primärwiderstand-Abschätzeinheit zum Schätzen eines Primärwiderstandswertes eines sensorlosen Vektorsteuersystems für einen Induktionsmotor erläutert, das wie oben beschrieben, aufgebaut ist. 35

[0091] Die berechnete d-Achsen-Spannung (v_{ds}^*) des synchronen Koordinatensystems und der Ausgabewerte ($\hat{\omega}_e$, $\hat{\omega}_r$, $\hat{\lambda}_{dr}^*$, $\hat{\lambda}_{qr}^*$) der Abschätzeinheit für den magnetischen Fluss und die Geschwindigkeit sowie die beiden Phasenströme (i_{ds}^* , i_{dr}^*) des synchronen Koordinatensystems werden empfangen, um den Primärwiderstandswert (\hat{r}_s) abzuschätzen; und dann wird der Primärwiderstandswert 17 der Rotor-Magnetfluss-Abschätzeinheit gemäß dem Spannungsmodell so gesteuert, dass es unter Benutzung des geschätzten Primärwiderstandswertes (\hat{r}_s) variiert wird, wodurch der Induktionsmotor selbst bei niedriger Geschwindigkeit stabil gesteuert werden kann. 40

[0092] Die zwölftes Operatoreinheit 77 empfängt nämlich die d-Achsen-Spannung (v_{ds}^*) auf dem Synchron-Referenz-Rahmensystem sowie die d-Achsen-Spannung (v_{dr}^*) der Eingabespannungs-Operatoreinheit 78, verarbeitet dieselben und gibt sie aus. Dann empfängt das Steuergerät 79 den ausgegebenen Wert und gibt den Primärwiderstands-Offsetwert aus. Der Begrenzer 80 empfängt den Primärwiderstands-Offsetwert und begrenzt ihn auf einen vorbestimmten Wert. Der Ausgabewert des Begrenzers 80 wird empfangen, wobei der unnötige Abschnitt des Wertes beseitigt wird. Der gefilterte Wert (r_{s_offset}) wird ausgegeben, und dann werden der gefilterte Wert (r_{s_offset}) und der anfängliche Primärwiderstandswert (r_{s_init}) verarbeitet, um auf diese Weise den Primärwiderstandswert (\hat{r}_s) abzuschätzen. 45

[0093] Die nachfolgende Gleichung (10) wird von der Eingabespannungs-Operatoreinheit 78 benutzt, um die d-Achsen-Spannung (v_{ds}^*) auf dem Synchron-Referenz-Rahmensystem zu erhalten. 50

$$v_{ds}^* = (\hat{r}_s + r, \frac{L_m^2}{L_r^2}) i_{ds}^* + \sigma L_s p i_{ds}^* - \omega_e \sigma L_s i_{qs}^* - r_r \frac{L_m}{L_r} \hat{\lambda}_{dr}^* - \hat{\omega}_r \frac{L_m}{L_r} \hat{\lambda}_{qr}^* \quad (10)$$

60

wobei: "L_m" die magnetisierte Reaktanz anzeigt; "L_r" die synchrone Reaktanz anzeigt; und "r_r" den Widerstand auf dem Synchron-Referenzrahmen-System anzeigt.

[0094] Wie bisher beschrieben besitzt das sensorlose Vektorsteuersystem eines Induktionsmotors gemäß der vorliegenden Erfindung viele Vorteile. 65

[0095] Beispielsweise kann das Vektorsteuersystem, zum Ersten, selbst in einem Anwendungssektor eingesetzt werden, der eine Spannungssteuerung wie etwa beim Papier, bei einem Metallfilm, oder einer Faser erfordert, wobei nur eine Vektorsteuerung und variable Geschwindigkeit erlaubt ist, weil die Geschwindigkeit und das Drehmoment des Indukti-

DE 101 40 034 A 1

onsmotors gesteuert werden.

[0096] Zweitens wird das Problem gelöst, dass aufgrund der Installation eines zusätzlichen Sensors in einem Anwendungssektor verursacht wird, der eine Geschwindigkeitssteuerung und eine Drehmomentsteuerung eines Induktionsmotors erfordert, und es wird eine präzise Vektorsteuerung ausgeführt.

5 [0097] Da die Vektorsteuerung für jeden Geschwindigkeitsbereich verfügbar ist, ohne dass ein Geschwindigkeitssensor benutzt wird, kann das Vektorsteuergerät, drittens, zu einem selbständigen Erzeugnis gemacht werden.

[0098] Da der Rechenaufwand zum Implementieren eines Algorithmus' nicht groß ist, kann viertens die Geschwindigkeit des Induktionsmotors und die Drehmomentsteuerung leicht mit einer üblichen CPU oder einer DSP durchgeführt werden.

10 [0099] Da schließlich der Induktionsmotor nicht von einem Parameter besonders abhängt und das System in einem stabilen Bereich betrieben wird, kann es leicht bei einer industriellen Anlage angewandt werden.

[0100] Weil die vorliegende Erfindung in verschiedenen Formen ausgebildet werden kann, ohne dass von der Idee oder von wesentlichen Merkmalen derselben abgewichen wird, ist davon auszugehen, dass die oben beschriebenen Ausführungsformen nicht durch irgendwelche Einzelheiten der vorausgehenden Beschreibung eingeschränkt werden, soweit nichts anderes gesagt wird. Vielmehr muss sie nach Idee und Umfang breit ausgelegt werden, wie dies in den beigefügten Ansprüchen definiert ist. Damit werden alle Ausweichslungen und Änderungen, die in den Bereich der Erfordernisse und Grenzen der Ansprüche fallen, oder alle Äquivalente solcher Anforderungen umgrenzen, so verstanden, dass sie durch die beigefügten Ansprüche erfasst sind.

20

Patentansprüche

1. Sensorloses Vektorsteuersystem für einen Induktionsmotor, in den Energie von einer Energiezufuhrseinheit eingespeist wird, um den Induktionsmotor anzutreiben, umfassend:

eine Magnetfluss- und Geschwindigkeit-Steuereinheit zum Empfangen eines vorbestimmten Befehlswertes und zum Erzeugen von zwei Phasenspannungen einer Gleichstromkomponente;

eine erste Koordinaten-Umwandlungseinheit zum Umwandeln der beiden Phasenspannungen der Gleichstromkomponente in drei Phasenspannungen einer Wechselstromkomponente;

einen Inverter zum Empfangen der drei Phasenspannungen der Wechselstromkomponente und zum Antreiben eines Induktionsmotors;

eine Stromdetektoreinheit zum Detektieren und Ausgeben von drei Phasenströmen der Wechselstromkomponente, die zwischen dem Inverter und dem Induktionsmotor fließen;

eine zweite Koordinaten-Umwandlungseinheit zum Umwandeln der drei Phasenströme des von der Stromdetektoreinrichtung kommenden Wechselstroms in zwei Phasenströme der Gleichstromkomponente;

eine Magnetfluss- und Geschwindigkeit-Abschätzeinheit zum Empfangen der zwei Phasenspannungen der von der zweiten Koordinatenumwandlungseinheit kommenden Gleichstromkomponente, und

Schätzwerte des magnetischen Flusses und der Geschwindigkeit, die für eine Vektorsteuerung benötigt werden; und eine Primärwiderstand-Abschätzeinheit zum Empfangen der zwei Phasenspannungen der Gleichstromkomponente der zwei Phasenströme der Gleichstromkomponente und der Magnetfluss- und Geschwindigkeitsschätzwerte, zum Abschätzen des Primärwiderstands.

40 2. System nach Anspruch 1, bei dem die Magnetfluss- und Geschwindigkeitssteuereinrichtung umfasst:

eine erste Operatoreinheit zum Empfangen einer Referenzgeschwindigkeit (ω_r^*) und einer geschätzten Geschwindigkeit ($\hat{\omega}_r$) und zum rechnerischen Betreiben;

ein Geschwindigkeitssteuergerät zum Empfangen der Ausgabe der ersten Operatoreinheit und zum Ausgeben eines Referenzdrehmoment-Komponentenstromes (i_{qs}^*);

45 eine zweite Operatoreinheit zum Empfangen des Referenzdrehmoment-Komponentenstroms (i_{qs}^*) und des Drehmoment-Komponentenstroms (i_{ds}^*) auf einem synchronen Referenzrahmensystem und rechnerisches Betreiben;

ein Drehmoment-Stromsteuergerät zum Empfangen der Ausgabe der zweiten Operatoreinheit, und Erzeugen einer q-Achsenspannung (v_{qs}^*) auf dem synchronen Referenzrahmensystem;

eine dritte Operatoreinheit zum Empfangen des Referenzmagnetflusses (λ_{dr}^*) und des geschätzten Magnetflusses ($\hat{\lambda}_{dr}$) des Induktionsmotors, und rechnerisches Betreiben;

eine Magnetfluss-Operatoreinheit zum Empfangen der Ausgabe der dritten Operatoreinheit und zum Ausgeben eines Magnetfluss-Komponenten-Offset-Stroms ($i_{ds_offset}^*$);

eine Magnetfluss-Stromoperatoreinheit zum Empfangen des Referenzmagnetflusses (λ_{dr}^*) des Induktionsmotors und zum Ausgeben eines Anfangsmagnetfluss-Komponentenstroms ($i_{ds_init}^*$);

55 eine vierte Operatoreinheit zum Empfangen des Magnetfluss-Komponenten-Offset-Stroms ($i_{ds_offset}^*$) und des Anfangsmagnetfluss-Komponentenstroms ($i_{ds_init}^*$) und Bearbeiten derselben;

eine fünfte Operatoreinheit zum Empfangen des Ausgabewertes (i_d^*) der vierten Operatoreinheit und des Magnetfluss-Komponentenstroms (i_{ds}^*) auf dem synchronen Referenzrahmensystem; und

eine Magnetfluss-Stromsteuereinheit zum Empfangen der Ausgabe der fünften Operatoreinheit und zum Erzeugen einer d-Achsenspannung (v_{ds}^*) auf dem synchronen Referenzrahmensystem.

60 3. System nach Anspruch 1, bei dem die erste Koordinatenumwandlungseinheit umfasst:

einen Synchron-/Stationär-Referenzrahmensystem-Umsetzer zum Empfangen der zwei Phasenspannungen (v_{qs}^*, v_{ds}^*) der Gleichstromkomponente, zum Umwandeln derselben in zwei Phasenspannungen (v_a^*, v_b^*) auf einem stationären Referenzrahmensystem und Ausgeben derselben; und

65 einen 2-Phasen-/3-Phasen-Referenz-Rahmensystem-Umsetzer zum Umwandeln der beiden Phasenspannungen (v_{qs}^*, v_{ds}^*) auf dem stationären Referenz-Rahmensystem in drei Phasenspannungen (v_a^*, v_b^*, v_c^*) der Wechselstromkomponente, und Ausgeben derselben.

4. System nach Anspruch 1, bei dem die zweite Referenzrahmensystem-Umwandlungseinheit umfasst:

DE 101 40 034 A 1

einen 3-Phasen-/2-Phasen-Referenzrahmensystem-Umsetzer 39 zum Empfangen von drei Phasenströmen (i_a , i_b , i_c) der Wechselstromkomponente; Umwandeln derselben in zwei Phasenströme (i_{dq}^* , i_{ds}^*), und Ausgeben derselben; und einen Stationär-/Synchron-Referenzrahmensystem-Umsetzer zum Empfangen (40) der zwei Phasenströme (i_{ds} , i_{dq}) der Gleichstromkomponente; Umwandeln derselben in zwei Phasenströme (i_{ds}^* , i_{dq}^*) und Ausgeben derselben.

5. System nach Anspruch 1, bei dem die Magnetfluss- und Geschwindigkeitsabschätzungseinheit umfasst:

eine Rotormagnetfluss-Abschätzungseinheit unter Benutzung eines Strommodells, zum Ausgeben eines Rotormagnetflusses ($\hat{\lambda}_{dqr_cm}^*$) aus einem Strom (i_{dq}^*) und einer Spannung (v_{dq}^*) auf dem stationären Referenz-Rahmensystem; eine Rotormagnetfluss-Abschätzungseinheit, die ein Spannungsmodell benutzt zum Ausgeben eines Rotormagnetflusses ($\hat{\lambda}_{dqr_vm}^*$) von dem Strom (i_{dq}^*) und der Spannung (v_{dq}^*) auf dem stationären Referenz-Rahmensystem;

10 eine siebte Operatoreinheit zum Berechnen eines Differenzwertes zwischen dem Ausgabewert der Rotor-Magnetfluss-Abschätzungseinheit unter Benutzung des Spannungsmodells sowie des Ausgabewertes der Rotor-Magnetfluss-Abschätzungseinheit, unter Benutzung des Strommodells;

ein Steuergerät zum Empfangen des Ausgangswertes der siebten Operatoreinheit, Multiplizieren derselben mit einem vorbestimmten konstanten Proportionalwert; und erhalten eines Magnetfluss-Abschätzungswertes ($\hat{\lambda}_{dqr}^*$); und eine Magnetfluss- und Geschwindigkeits-Operatoreinheit ($\hat{\lambda}_{dqr}$) zum empfangen des Magnetfluss-Abschätzungswertes ($\hat{\lambda}_{dqr}^*$) und Berechnen des für die Vektorsteuerung erforderlichen Wertes.

6. System nach Anspruch 5, bei dem die Rotormagnetfluss-Abschätzungseinheit gemäß dem Strommodell umfasst: einen ersten Referenzrahmensystem-Umsetzer zum Empfangen der zwei Phasenströme (i_{ds}^* , i_{dq}^* , i_{qs}^*) auf dem stationären Referenzrahmensystem, und Umwandeln derselben in die Werte auf dem synchronen Referenzrahmensystem, und Ausgeben derselben;

20 eine sechste Operatoreinheit zum Ausgeben der Differenz zwischen einem Wert, der durch Multiplizieren der Ausgabewerte (i_{ds}^* , i_{dq}^* , i_{qs}^*) des ersten Referenzrahmensystem-Umsetzers mit einer Induktionsmotorkonstanten

$$\left(\frac{L_m}{L_r} \right)$$

25

und einem Wert, der durch Multiplizieren des Rotor-Magnetflusses ($\hat{\lambda}_{dqr}^*$; $\hat{\lambda}_{dqr}$, $\hat{\lambda}_{qs}^*$) auf dem synchronen Referenz-Rahmensystem mit einer Zeitkonstanten

$$\left(\frac{1}{T_r} \right)$$

30

erhalten wird, definiert durch die Induktionsmotorkonstante;

35 einen ersten Integrierer zum Empfangen des Ausgabewertes der sechsten Operatoreinheit und Ausgeben des Rotor-Magnetflusses ($\hat{\lambda}_{dqr}$) auf dem synchronen Referenz-Rahmensystem;

einen zweiten Integrierer zum Empfangen einer geschätzten Geschwindigkeit ($\hat{\omega}_r$) von einer Magnetfluss- und Geschwindigkeits-Operatoreinheit, und Integrieren derselben; und

40 einen zweiten Koordinatenumsetzer zum Empfangen des Ausgabewertes ($\hat{\lambda}_{dqr}^*$) des ersten Integrierers und des Ausgabewertes des zweiten Integrierers [44 Referenzrahmen, der ihn umwandelt] und Ausgeben des Rotormagnetflusses ($\hat{\lambda}_{dqr_cm}^*$) auf dem stationären Referenzrahmensystem.

7. System nach Anspruch 5, bei dem der magnetische Fluss ($\hat{\lambda}_{dqr}$) des Rotors auf dem synchronen Referenzrahmensystem in der Abschätzungseinheit des Rotormagnetflusses unter Benutzung des Strommodells an Hand der Gleichung

$$\frac{d\lambda'_{dr}}{dt} = -\frac{r_r}{L_r} \hat{\lambda}_{dr} + r_r \frac{L_m}{L_r} i'_{ds} \quad \text{und} \quad \frac{d\lambda'_{qr}}{dt} = -\frac{r_r}{L_r} \hat{\lambda}_{qr} + r_r \frac{L_m}{L_r} i'_{dq}$$

45

ermittelt wird,

und der Rotormagnetfluss auf dem stationären Referenzrahmensystem durch die folgenden Gleichungen ermittelt wird $\hat{\lambda}_{dr}^* = \hat{\lambda}_{dr}^* \cos \theta_r - \hat{\lambda}_{qr}^* \sin \theta_r$ und $\hat{\lambda}_{qr}^* = \hat{\lambda}_{dr}^* \sin \theta_r + \hat{\lambda}_{qr}^* \cos \theta_r$, wobei "L" die synchrone Reaktanz, "L_m" die Magnetisierungsreaktanz, "r_r" den Widerstand des Synchronisations-Referenzrahmens bezeichnen, und "i'_{ds}" und "i'_{dq}" den Strom auf dem synchronen Referenzrahmen bezeichnen.

8. System nach Anspruch 5, bei dem die Rotor-Magnetfluss-Abschätzeinheit unter Benutzung des Spannungsmodells umfasst:

55 eine achte Operatoreinheit zum Ermitteln des Wertes, erhalten durch Multiplizieren der Spannung (v_{dqr}^*), ausgedrückt in dem stationären Referenzrahmensystem, und des Stromes (i_{dqr}^*), ausgedrückt in dem stationären Referenzrahmensystem durch den Primärwiderstand, und Ausgeben desselben;

eine neunte Operatoreinheit zum Ermitteln des Ausgabewertes der achten Operatoreinheit sowie des Ausgabewertes eines Steuergerätes, und Ausgeben desselben;

60 einen dritten Integrierer zum Integrieren des Ausgabewertes der neunten Operatoreinheit;

eine zehnte Operatoreinheit zum Ermitteln des Unterschiedswertes zwischen einem Wert, erhalten durch Multiplizieren des Stromes (i_{dqr}^*), ausgedrückt in dem stationären Referenzrahmensystem mit einer Streumagnetflusskomponente (σL_s) und dem Ausgabewert des dritten Integrierers; und

65 eine Induktionsmotorkonstante

DE 101 40 034 A 1

$$\left(\frac{L_m}{L_r} \right).$$

5 9. System nach Anspruch 8, bei dem der magnetische Rotorfluss ($\hat{\lambda}_{dr}^s, \hat{\lambda}_{qr}^s$) auf dem stationären Referenzrahmensystem in der Abschätzeinheit des Rotormagnetflusses gemäß dem Spannungsmodell durch die Gleichungen

$$\hat{\lambda}_{ds}^s = \int (V_{ds}^s - r_s i_{ds}^s) dt \quad \text{und} \quad \hat{\lambda}_{qs}^s = \int (V_{qs}^s - r_s i_{qs}^s) dt$$

10 erzeugt wird, und der magnetische Rotorfluss ($\hat{\lambda}_{dr}^s, \hat{\lambda}_{qr}^s$) in Anbetracht der magnetischen Stator-Streumagnetflusskomponente (σL_s) in den obigen Gleichungen gemäß den Gleichungen durch die Gleichungen

$$\hat{\lambda}_{dr}^s = \frac{L_r}{L_m} (\hat{\lambda}_{ds}^s - \sigma L_s i_{ds}^s) \quad \text{und} \quad \hat{\lambda}_{qr}^s = \frac{L_r}{L_m} (\hat{\lambda}_{qs}^s - \sigma L_s i_{qs}^s)$$

15 erzeugt wird, wobei "V_{ds}^s" und "V_{qs}^s" die Spannung auf dem stationären Referenzrahmensystem bezeichnen, "i_{qs}^s" und "i_{ds}^s" die Ströme auf dem stationären Referenzrahmensystem bezeichnen, "r_s" einen primären Widerstand bezeichnet, "L_r" eine synchrone Reaktanz bezeichnet, "L_m" eine magnetisierte Reaktanz bezeichnet und "i_{qs}^s" und "i_{ds}^s" die Ströme auf dem stationären Referenzrahmensystem bezeichnen.

20 10. System nach Anspruch 5, bei dem der Wert ($\hat{\lambda}_{dqr}^s$) des geschätzten Magnetflusses, der für die Vektorsteuerung erforderlich ist, einen Magnetfluss kennzeichnet, der unter Benutzung des Rotormagnetflusses ($\hat{\lambda}_{dqr_cm}^s$) gemäß dem Strommodell und des Rotormagnetflusses ($\hat{\lambda}_{dqr_vm}^s$) gemäß dem Spannungsmodell geschätzt wurde, und wobei das Spannungsmodell das Hochpassfilter

$$25 \left(\frac{s}{s + K_p} \right)$$

benutzt und das Strommodell den Tiefpassfilter

$$30 \left(\frac{K_p}{s + K_p} \right)$$

benutzt, um den endgültigen Rotormagnetfluss abzuschätzen.

35 11. System nach Anspruch 10, bei dem der geschätzte Wert ($\hat{\lambda}_{dqr}^s$) des magnetischen Flusses durch Benutzen der Gleichung

$$40 \hat{\lambda}_{dqr}^s = \frac{s}{s + K_p} \hat{\lambda}_{dqr_vm}^s + \frac{K_p}{s + K_p} \hat{\lambda}_{dqr_cm}^s |$$

erhalten wird.

12. System nach Anspruch 5, bei dem die Einheit zur Ermittlung des magnetischen Flusses und der Geschwindigkeit umfasst:

45 eine Arc_tan()-Funktion zum Empfangen des geschätzten Magnetflusswertes ($\hat{\lambda}_{dqr}^s$) und des Schätzens des Magnetflusswinkels (θ_c);

ein Differenzierglied zum Empfangen des geschätzten Magnetflusswinkels und zum Abschätzen der Magnetfluss-Winkelgeschwindigkeit ($\dot{\theta}_c$);

50 einen dritten Koordinatenumsetzer zum Empfangen des geschätzten Magnetflusswertes ($\hat{\lambda}_{dqr}^s$) und des geschätzten Magnetflusswinkels (θ_c), und zum Ausgeben des Gleichstrommagnetflusses (\hat{j}_{dqr}^s) auf dem synchronen Referenzrahmensystem;

eine Abschätzeinheit für die Schlupf-Winkelgeschwindigkeit zum Empfangen des Ausgabewertes ($\hat{\lambda}_{dqr}^s$) des dritten Koordinatenumsetzers und des Stroms (i_{qs}^s) auf dem synchronen Referenzrahmensystem, und Abschätzen der Schlupf-Winkelgeschwindigkeit ($\dot{\omega}_{slip}$); und

55 eine elfte Operatoreinheit zum Ermitteln des Ausgabewertes ($\hat{\omega}_c$) des Differenzierers sowie der geschätzten Schlupf-Winkelgeschwindigkeit ($\dot{\omega}_{slip}$), und zum Ausgeben der geschätzten Geschwindigkeit ($\hat{\omega}_c$).

13. System nach Anspruch 1, bei dem die Einheit zum Abschätzen des Primärwiderstandes umfasst:

eine zwölfe Operatoreinheit zum Empfangen der d-Achsenspannung (V_{dq}^s) des synchronen Koordinatensystems und der d-Achsenspannung (V_{ds}^s) auf dem synchronen Referenzrahmensystem einer Operatoreinheit für die Eingabespannung; und Betreiben derselben;

60 ein Steuergerät zum Empfangen des Ausgabewertes der zwölften Operatoreinheit, und Ausgeben des Primärwiderstand-Offset-Wertes;

einen Begrenzer zum Empfangen des Primärwiderstand-Offset-Wertes und zum Begrenzen desselben auf einen vorbestimmten Wert;

65 ein Tiefpassfilter zum Empfangen des Ausgabewertes des Begrenzers, zum Entfernen des nicht benötigten Abschnitts und zum Ausgeben eines gefilterten Wertes (r_{s_offset});

eine dreizehnte Operatoreinheit zum Ermitteln des im Tiefpass gefilterten Wertes sowie des Anfangswertes (r_{s_init}) des Primärwiderstandes und zum Abschätzen des Primärwiderstandswertes (\hat{r}_s); und

DE 101 40 034 A 1

eine Eingabespansungs-Operatoreinheit zum Empfangen des geschätzten Primärwiderstandswertes (\hat{r}_s), der Werte ($\hat{\omega}_e$, $\hat{\lambda}_{dr}^s$, $\hat{\lambda}_{qr}^s$) von der Einheit zum Abschätzen des Magnetflusses und der Geschwindigkeit, und zum Empfangen der beiden Phasenströme (i_{ds}^s , i_{qs}^s) auf dem synchronen Referenzrahmensystem, und Ausgeben der d-Achsenspannung (v_{ds}^s) auf dem Referenzrahmensystem.

14. System nach Anspruch 13, bei dem die d-Achsenspannung (v_{ds}^s) erzeugt wird unter Benutzung der Gleichung 5

$$v_{ds}^s = (\hat{r}_s + r_r \frac{L_m^2}{L_r^2}) i_{ds}^s + \sigma L_r p i_{ds}^s - \omega_e \sigma L_r i_{qs}^s - r_r \frac{L_m}{L_r^2} \hat{\lambda}_{dr}^s - \hat{r}_r \frac{L_m}{L_r} - \hat{\lambda}_{qr}^s$$

wobei "L_m" die magnetisierte Reaktanz, "L_r" die synchrone Reaktanz und "r_r" den Widerstand auf dem Synchronisationsreferenzrahmensystem anzeigen. 10

15. Sensorloses Vektorsteuersystem eines Induktionsmotors, in den Energie von einer Energieversorgungseinheit gespeist wird, um den Induktionsmotor anzutreiben, umfassend:

eine Einheit zum Steuern des Magnetflusses und der Geschwindigkeit, die eine Referenzgeschwindigkeit (ω_r^*) von einem Benutzer sowie einen Referenzmagnetfluss (λ_{dr}^*) eines Induktionsmotors empfängt, und die eine q-Achsenspannung (v_{qs}^*) und eine d-Achsenspannung (v_{ds}^*) ausgibt; 15

eine Synchron-/Stationär-Rahmensystem-Umsetzungseinheit zum Empfangen der q-Achsenspannung (v_{qs}^*) und der d-Achsenspannung (v_{ds}^*);

Umsetzen derselben in zwei Phasenspannungen (v_{qs}^s , v_{ds}^s) auf einem stationären Referenzrahmensystem; und Ausgeben derselben; 20

eine 2-Phasen-/3-Phasen-Referenzrahmen-Umsetzungseinheit zum Umsetzen der zwei Phasenspannungen (v_{qs}^s , v_{ds}^s) auf dem stationären Referenzrahmensystem in drei Phasenspannungen (v_a^s , v_b^s , v_c^s);

einen Inverter zum Empfangen der drei Phasenspannungen (v_a^s , v_b^s , v_c^s) und der von der Energiezufuhreinheit gelieferten Spannung, und Antreiben des Induktionsmotors durch Schalten; 25

eine Stromdetektoreinheit zum Detektieren von drei Phasenströmen (i_a , i_b , i_c), die zwischen dem Inverter und dem Induktionsmotor fließen;

eine 3-Phasen-/2-Phasen-Referenzrahmen-Umsetzungseinheit zum Empfangen der detektierten drei Phasenströme (i_a , i_b , i_c), und Umsetzen derselben in zwei Ströme (i_{ds}^s , i_{qs}^s);

eine Stationär-/Synchron-Referenzrahmensystem-Umwandlungseinheit zum Empfangen der zwei Phasenströme (i_{ds}^s , i_{qs}^s), Umsetzen derselben in zwei Phasenströme (i_{ds}^s , i_{qs}^s) auf dem synchronen Referenzrahmensystem, und Ausgeben derselben; 30

eine Einheit zum Abschätzen des magnetischen Flusses und der Geschwindigkeit, zum Empfangen des Stroms eines q-Achsen-Komponentenstroms (i_{qs}^s) unter den zwei Phasenströmen (i_{ds}^s , i_{qs}^s), ausgegeben von der Stationär-/Synchron-Referenzrahmen-Umwandlungseinheit, und zum Empfangen der beiden Phasenspannungen (v_{qs}^s , v_{ds}^s) auf dem statischen Koordinatensystem, sowie der beiden Phasenströme (i_{qs}^s , i_{ds}^s) auf dem stationären Referenzrahmensystem; Ermitteln des Magnetflusswinkels (θ_e), der Magnetfluss-Winkelgeschwindigkeit ($\dot{\theta}_e$), des Gleichstrommagnetflusses (λ_{dr}^s , λ_{qr}^s) auf dem synchronen Referenzrahmensystem und der geschätzten Geschwindigkeit ($\hat{\omega}_e$), und Ausgeben derselben; und 35

eine Einheit zum Abschätzen des Primärwiderstands zum Empfangen der d-Achsenspannung (v_{ds}^s) auf dem synchronen Referenzrahmensystem, der beiden Phasenströme (i_{qs}^s , i_{ds}^s), ausgegeben von der Stationär-/Synchron-Referenzrahmen-Umsetzungseinheit, der magnetischen Flusswinkelgeschwindigkeit ($\dot{\theta}_e$), ausgegeben von der Einheit zum Abschätzen des Magnetflusses und der Geschwindigkeit, des Gleichstrommagnetflusses (λ_{dr}^s , λ_{qr}^s) auf dem synchronen Referenzrahmensystem, sowie der geschätzten Geschwindigkeit ($\hat{\omega}_r$), Abschätzen des Primärwiderstandes (\hat{R}_s) und Ausgeben desselben. 40

16. Verfahren zur sensorlosen Vektorsteuerung eines Induktionsmotors, in den Energie von einer Energieversorgungseinheit gespeist wird, um einen Induktionsmotor anzutreiben, umfassend die Schritte:

Empfangen eines vorbestimmten Befehlswertes und Erzeugen von zwei Phasenspannungen der Gleichstromkomponente;

Umsetzen der beiden Phasenspannungen der Gleichstromkomponente in drei Phasenspannungen, um den Induktionsmotor anzutreiben; 50

Detektieren der Dreiphasen-Energie der Wechselstromkomponente, die in den Induktionsmotor fließt, wenn der Induktionsmotor angetrieben wird;

und Ausgeben der drei Phasenströme der Wechselstromkomponente;

Umsetzen der drei Phasenströme der Wechselstromkomponente in zwei Phasenströme der Gleichstromkomponente; 55

Empfangen der Spannungen und Ströme der Gleichstromkomponenten, und Ausgeben des Schätzwertes des Magnetflusses und der Geschwindigkeit unter Benutzung eines Algorithmus', der für die Vektorsteuerung durch Schätzwerte des Magnetflusses und der Geschwindigkeit erforderlich ist; und

Empfangen der Spannungen und Ströme der Wechselstromkomponente sowie der Schätzwerte des Magnetflusses und der Geschwindigkeit, und Abschätzen des Primärwiderstandes durch eine Primärwiderstands-Abschätzeinrichtung. 60

17. Verfahren nach Anspruch 16, wobei, beim Abschätzen des magnetischen Flusses und der Geschwindigkeit, der Rotormagnetfluss gemäß einem Strommodell, und der Rotormagnetfluss gemäß einem Spannungsmodell, durch Benutzen des Stromes und der Spannung, die in dem stationären Referenzrahmensystem ausgedrückt sind, sowie des Differenzwertes zwischen den geschätzten Werten des Spannungsmodells und des Strommodells abgeschätzt werden; und wobei der ausgegebene Differenzwert mit einem konstanten Wert eines Steuergerätes multipliziert wird, um den geschätzten Wert des magnetischen Flusses zu erhalten. 65

DE 101 40 034 A 1

18. Verfahren nach Anspruch 17, bei dem die Abschätzung des Rotormagnetflusses gemäß dem Strommodell im Bereich niedriger Geschwindigkeit zusammen mit einem Tiefpassfilter angewandt wird, um die Erzeugung eines Magnetfluss-Abschätzungsfehlers zu verhindern, der durch eine Variation der Induktionsmotorkonstante verursacht wird.

5 19. Verfahren nach Anspruch 17, bei dem die Abschätzung des Rotormagnetflusses gemäß dem Spannungsmodell im Bereich hoher Geschwindigkeit benutzt wird, zusammen mit einem Hochpassfilter, um Probleme, wie etwa ein Variations-Offset, eine Saturierung des Integrierers, ein Impedanzabfall des Stators bei niedriger Geschwindigkeit und einen Abschätzfehler beim magnetischen Fluss aufgrund von Störsignalen, zu vermeiden.

10 20. Verfahren nach Anspruch 17, bei dem die Abschätzung des Rotormagnetflusses gemäß dem Strommodell und die Abschätzung des Magnetflusses gemäß dem Spannungsmodell eine Integralfunktion und eine Differentialfunktion benutzt, so dass das momentane Drehmoment – der Hauptstakepunkt – der Vektorsteuerung, gesteuert werden kann.

15 21. Verfahren nach Anspruch 17, bei dem der Wert des Steuergerätes ein konstanter Wert proportional zur Geschwindigkeit des Induktionsmotors ist, so dass er leicht in dem Geschwindigkeitsbereich bestimmt werden kann.

22. Verfahren nach Anspruch 17, bei dem der Widerstandswert der Einheit zum Abschätzen des Magnetflusses und der Geschwindigkeit während der Veränderung durch Benutzen des Schätzwertes der Einheit zum Abschätzen des Primärwiderstandes gesteuert wird, so dass ein stabiler Betrieb auch bei niedriger Geschwindigkeit durchgeführt werden kann.

20 23. Verfahren nach Anspruch 17, bei dem bei der Abschätzung des Magnetflusses und der Geschwindigkeit die Variation der Motorkonstanten und der Spannungsfehler automatisch im niedrigen Geschwindigkeitsbereich kompensiert werden.

24. Verfahren nach Anspruch 16, bei dem die Operation zum Implementieren eines Algorithmus' durch Benutzen einer Zentraleinheit (CPU) oder eines Digitalsignalprozessors (DSP) durchgeführt wird.

25

Hierzu 6 Seite(n) Zeichnungen

30

35

40

45

50

55

60

65

FIG. 1

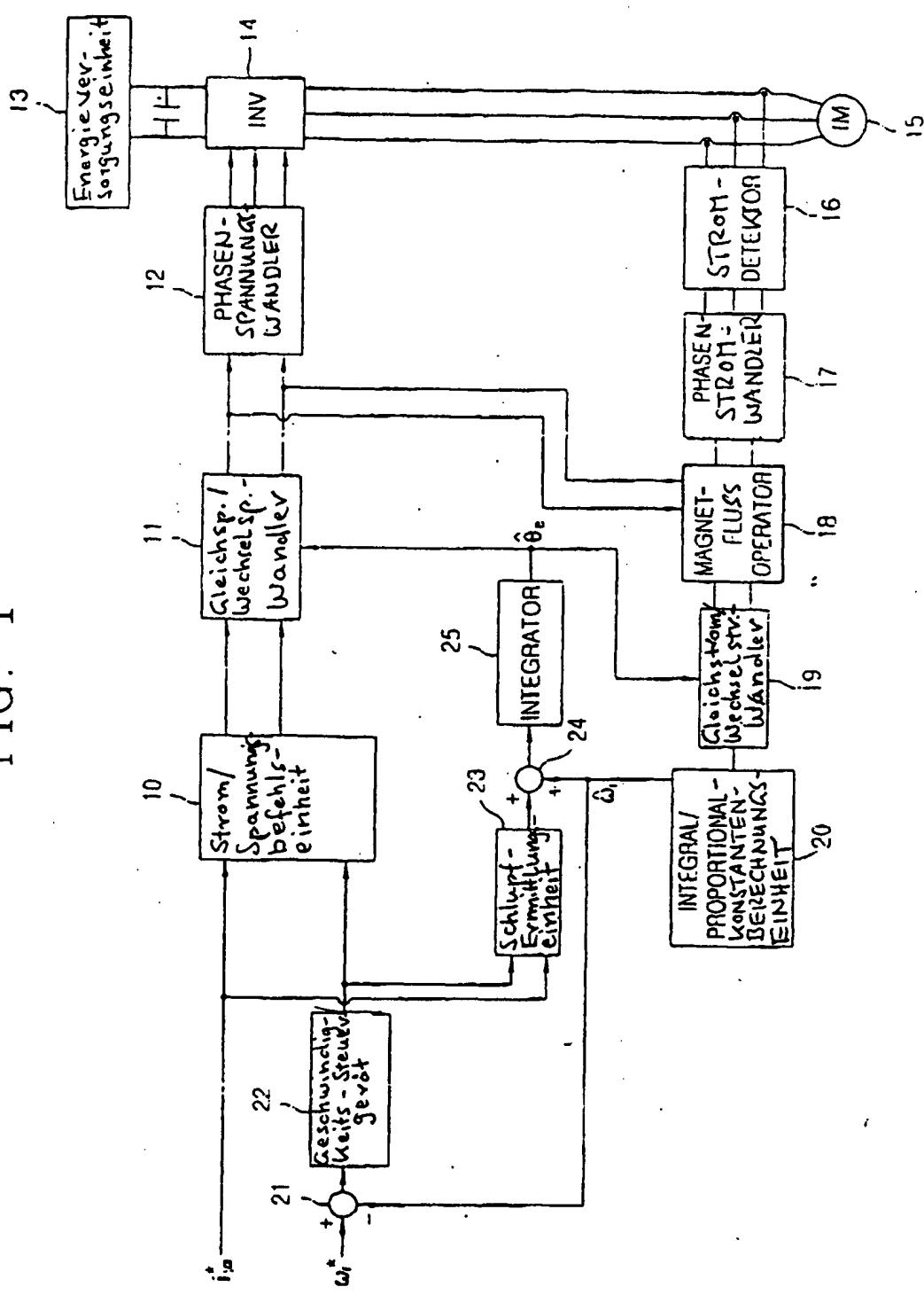


FIG. 2

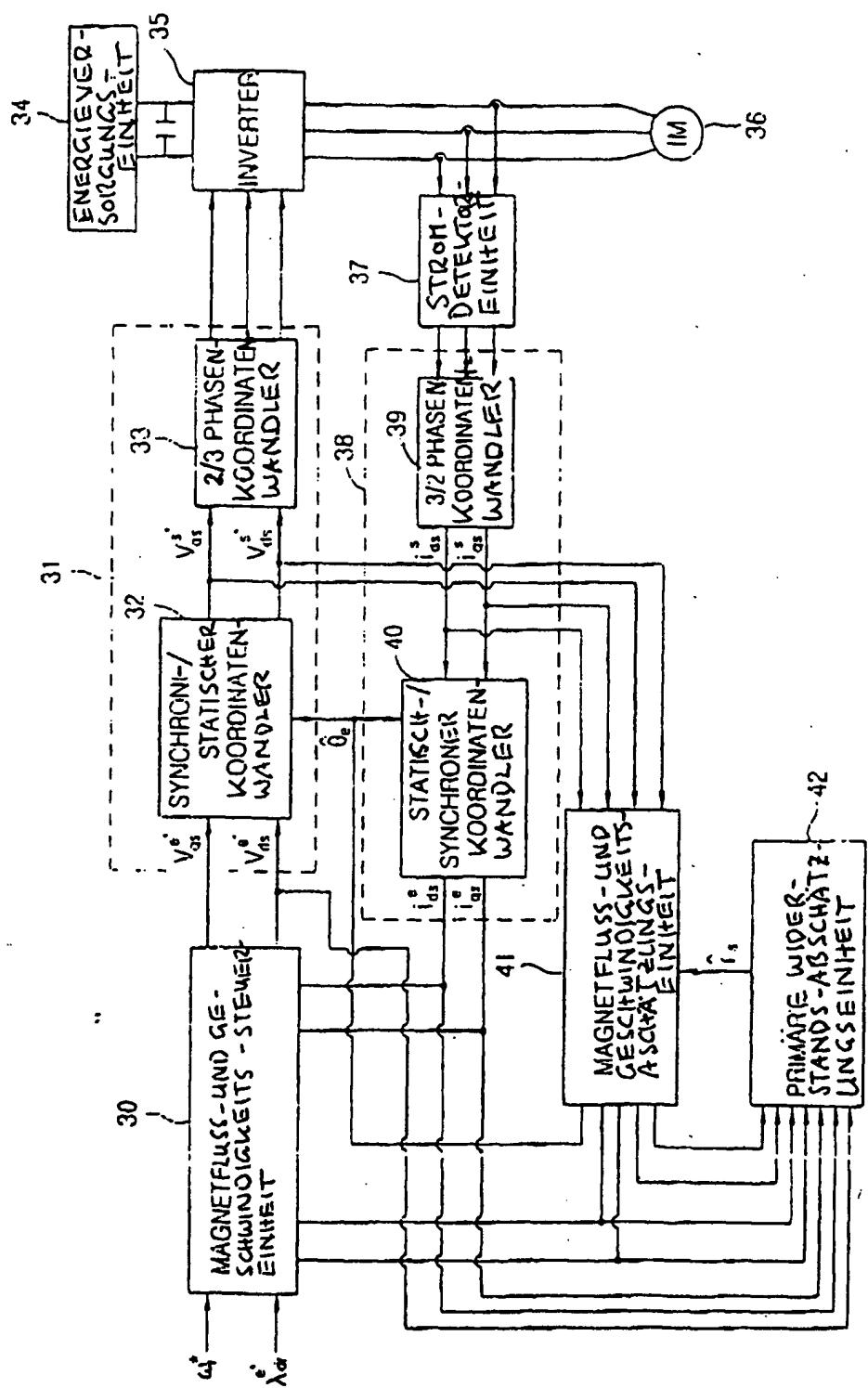


FIG. 3

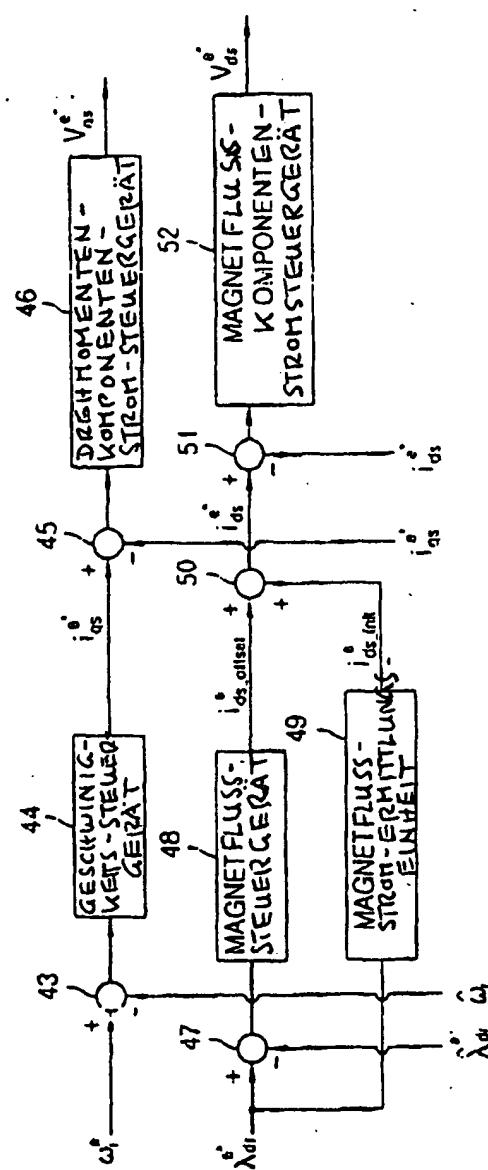


FIG. 4

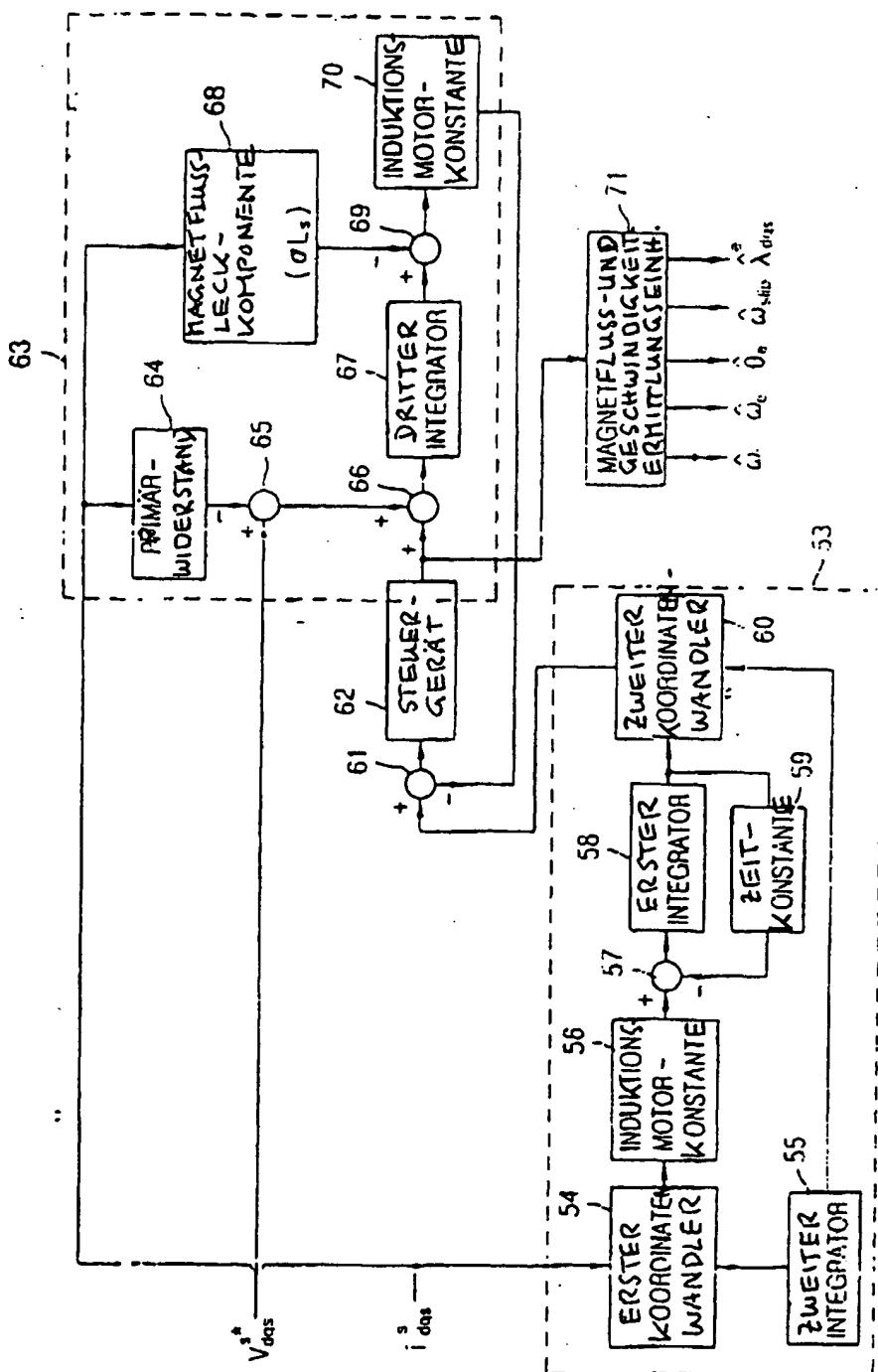


FIG. 5

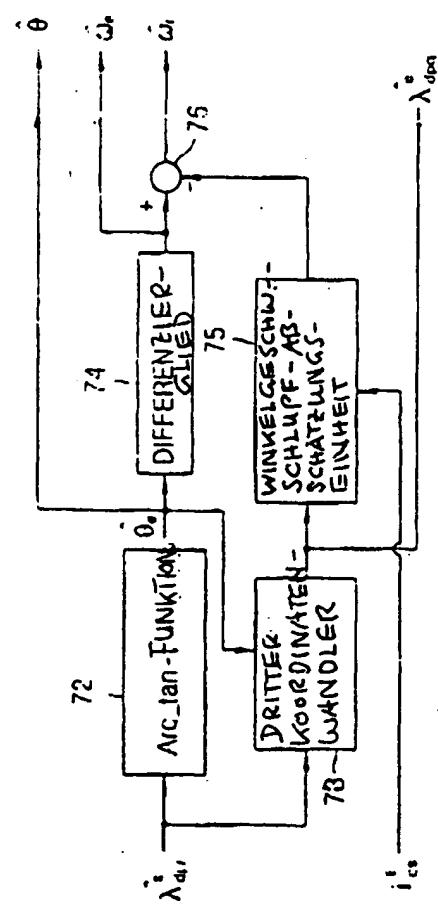


FIG. 6

